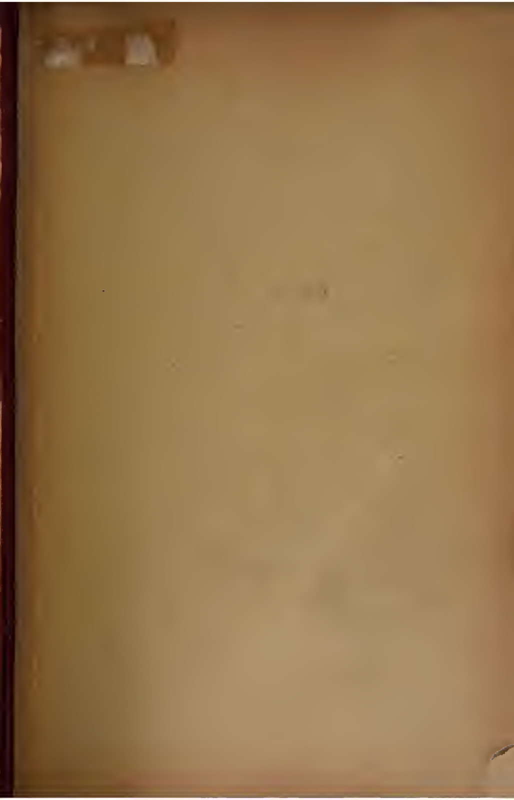




PSYCHO-PHYSIOLOGISCHE

PROTISTEN-STUDIEN.

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

VON

DR. MAX VERWORN,
JENA.

MIT 6 LITHOGRAPHISCHEN TAFELN UND 27 ABBILDUNGEN
IM TEXT.

JENA.
VERLAG VON GUSTAV FISCHER.
1889.


HARVARD COLLEGE
NOV 8 1894
LIBRARY

SEINEM HOCHVEREHRTEN LEHRER

ERNST HAECKEL

IN AUFRICHTIGER DANKBARKEIT

GEWIDMET

VOM VERFASSER.

Verehrter Herr Professor!

Als ich unter Ihrer Leitung im zoologischen Institut zu Jena an meine zoologische Ausbildung herantrat, war es von Anfang an das Leben der niedrigsten Organismen, das im höchsten Maasse mein Interesse erregte. Waren doch hier auf der untersten Stufe des Lebens überhaupt, im Rahmen einer einzigen Zelle, schon alle Lebenserscheinungen, die wir bei den höheren Organismen beobachten, in ihrer einfachsten Form anzutreffen. Die Formbildung, das Wachsthum, die Fortpflanzung, die Bewegung der einzelligen Organismen und der Zelle überhaupt schien mir nach den fruchtbaren Ideen, die ich aus Ihren Vorlesungen und Schriften schöpfte, der natürliche Ausgangspunkt für ein Verständniss der analogen Erscheinungen bei den höheren und höchsten Organismen zu bilden. Der Eindruck, welchen ich empfing, als ich zum ersten Mal Gewebszellen höherer Thiere, Flimmerzellen und Leucocyten vom Frosch nach ihrer Trennung vom Organismus eine selbstständige Existenz führen sah, wird mir aus jener Zeit stets im Gedächtniss bleiben, denn er war es, der mich zuerst mit dem Gedanken vertraut machte, dass man, um zum Verständniss sämmtlicher Lebenserscheinungen zu gelangen, bis auf die Elementarorganismen zurückgehen müsse.

Die allgemeinen Anschauungen, welche ich in dieser Zeit von Ihnen empfangen hatte, begleiteten mich dann nach meiner Heimath Berlin zurück, wo ich unter der ausgezeichneten Leitung des Herrn Professor F. E. SCHULZE meine speciell zoologische Bildung erweiterte. Ich kann nicht umhin, Herrn Professor SCHULZE und seinem damaligen Assistenten Herrn Dr. K. HEIDER an dieser Stelle meinen innigsten Dank auszusprechen besonders für die werthvolle Bereicherung meiner Kenntniss der einzelligen Organismen.

Angeregt durch Ihre Idee von der „Zellseele“ tauchte in dieser Zeit eine Frage in mir wieder auf, die mich schon früher lebhaft interessirt hatte, die Frage nach den psychischen Vor-

gängen im thierischen Organismus, welche unter den damaligen Verhältnissen festere Form bei mir gewann in dem Problem vom Seelenleben der niedersten Organismen. Speciellere zoologische und besonders physiologische Studien hielten mich damals von einer Verfolgung dieser Frage noch ab, ohne dieselbe aber bei mir in Vergessenheit gerathen zu lassen.

Erst im Sommer 1886 konnte ich eine exacte Untersuchung des Problems in Angriff nehmen. Meine Versuche, die ich zum grössten Theil in meiner Wohnung, zum Theil im zoologischen Institut zu Berlin ausführte, wurden zwar einige Male durch andere Arbeiten unterbrochen, führten aber doch allmählig zu einigen Ergebnissen.

Meine abermalige Uebersiedelung nach Jena machte es mir darauf möglich, im persönlichen Verkehr mit Ihnen manche Fragen zu besprechen, über die mir Ihr Urtheil äusserst werthvoll war. Die Untersuchungen selbst setzte ich im physiologischen Institut zu Jena fort. Unschätzbare Anregung erhielt ich dabei durch den Meinungsaustausch mit dem Leiter desselben, Herrn Prof. Preyer, der sich aufs lebhafteste für meine Arbeiten interessirte. Für die allseitige Unterstützung, die meine Untersuchungen bei ihm fanden, bin ich Herrn Hofrath Preyer zu vielem Dank verpflichtet. Auch Herrn Prof. Biedermann, dem Nachfolger des Herrn Prof. Preyer, sowie Herrn Prof. Stahl in Jena möchte ich für das freundliche Entgegenkommen, das sie mir bei meinen Arbeiten zu Theil werden liessen, an dieser Stelle meinen Dank aussprechen.

Ihren vorläufigen Abschluss fanden die Untersuchungen im Winter 1888.

Die leitende Idee, das entwicklungsgeschichtliche Princip mit all seinen nothwendigen Consequenzen in morphologischer und physiologischer Hinsicht, die monistische Vorstellung von den Erscheinungen der Natur, diese werthvollste Grundlage meiner Studien verdanke ich Ihnen, verehrter Herr Professor, und es ist nur ein kleiner Theil des vielen Dankes, den ich Ihnen schuldig bin, wenn ich Sie bitte, diese Blätter aus meiner Hand entgegen zu nehmen. Mögen dieselben eine nachsichtige Beurtheilung bei Ihnen finden.

Jena, im März 1889.

Der Verfasser.

Inhalt.

Seite

Einleitung . . . 1
Gegenwärtiger Stand der thierpsychologischen Forschung . . . 2
Bedeutung der Protisten für die Thierpsychologie . . . 4
Bisherige Litteraturangaben über das Seelenleben der Protisten . . . 5
Methodik . . . 18
Das Untersuchungs-Material . . . 21
Die Bewegungen des unverletzten Protistenkörpers . . . 25
I. **Die spontanen Körperbewegungen** . . . 27
1. Bacterien . . . 28
2. Flagellaten . . . 28
3. Diatomeen . . . 28
4. Rhizopoden . . . 29
5. Ciliaten . . . 29
a. Umschlag der Wimperbewegung nach entgegengesetzter Richtung, Aenderung der Geschwindigkeit . . . 29
b. Wirbelbewegung . . . 30
c. Zusammenzucken durch Contraction der Myoide . . . 30
d. Schnell- und Springbewegung . . . 30
e. Laufbewegung der hypotrichen Ciliaten . . . 31
f. Such- und Tastbewegung . . . 32
II. **Die Reizbewegungen** . . . 34
A. **Bewegungen auf Lichtreize.** Heliotropismus . . . 35
1. Bacterien . . . 36
2. Rhizopoden . . . 39
3. Flagellaten . . . 42
4. Diatomeen . . . 46
5. Oscillarien . . . 50
6. Desmidiaceen . . . 52
7. Ciliaten . . . 54
B. **Bewegungen auf Wärmereize** . . . 61
1. Rhizopoden . . . 61
Thermotropismus . . . 63
2. Flagellaten . . . 68
3. Ciliaten . . . 68
C. **Bewegungen auf mechanische Reize** . . . 75
1. Rhizopoden . . . 75
2. Flagellaten . . . 84
3. Ciliaten . . . 87
4. Diatomeen und Oscillarien . . . 90
Thigmotropismus . . . 90
D. **Akustische Reize** . . . 93
Rhizopoden, Ciliaten (Unempfindlichkeit) . . . 94
E. **Bewegungen auf chemische Reize** . . . 95
1. Rhizopoden . . . 96

Seite
2. Ciliaten . . . 98
Chemotropismus . . . 103
1. Bacterien . . . 103
2. Rhizopoden . . . 106
3. Flagellaten . . . 107
4. Ciliaten . . . 107
Hydrotropismus . . . 108
F. Bewegungen auf galvanische Reize . . . 109
1. Rizopoden . . . 109
2. Ciliaten . . . 114
Galvanotropismus . . . 115
Ciliaten . . . 115
Wirkungen auf die Schwerkraft . . . 121
Vergleichender Rückblick auf die Reizbewegungen . . . 123
Die sensiblen Elemente . . . 125
I. Licht . . . 126
II. Wärme . . . 127
III. Mechanische Reize . . . 127
IV. Akustische Reize . . . 130
V. Chemische Reize . . . 130
VI. Galvanische Reize . . . 130
Die psychischen Processe im Protistenreich verglichen mit denen des Menschen . . . 131
Uebersicht der psychischen Grunderscheinungen beim Menschen . . . 131
I. Erkenntnissvorgänge . . . 132
II. Willensvorgänge . . . 135
Die Reizbewegungen der Protisten als Reflexbewegungen . . . 136
Die spontanen Bewegungen der Protisten als impulsive und automatische Bewegungen . . . 140
Schlüsse, welche die Untersuchung der sensiblen Elemente gestattet . . . 143
Complicirtere Lebensthätigkeiten . . . 146
Nahrungsaufnahme . . . 146
Gehäusebau . . . 150
System der psychischen Grunderscheinungen im Protistenreich . . . 155
Die Bewegungen der Theilstücke . . . 156
I. Die spontanen Bewegungen der Theilstücke . . . 160
1. Rhizopoden . . . 160
2. Ciliaten . . . 169
II. Die Reizbewegungen der Theilstücke . . . 178
1. Rhizopoden . . . 178
a. Wärmereize . . . 178
b. Mechanische Reize . . . 179
c. Galvanische Reize . . . 180
2. Ciliaten . . . 180
a. Mechanische Reize . . . 180
b. Chemische und galvanische Reize . . . 182
Folgerungen aus den Theilungsversuchen . . . 183
Bestätigung der ersten Ergebnisse . . . 188
Die Stoffwechselvorgänge im Elementarorganismus . . . 190
Molekular-Psychologie . . . 200
Entwicklung des psychischen Lebens im Protistenreich . . . 207
Zusammenfassung der Ergebnisse . . . 209
Tafelerklärungen . . . 214

Einleitung.

Die heutige entwicklungsgeschichtliche Forschung hat die höchst bedeutsame Thatsache aufgefunden, dass sich alle Thiere und Pflanzen im Laufe der Erdgeschichte aus den einfachsten Formen, Zellen resp. Cytoden, entwickelt haben, ein Vorgang, der sich in abgekürzter Form noch jetzt bei der Entwicklnng jedes einzelnen Organismus vor unseren Augen wiederholt. Das Endergebniss der Entwicklung, die vollendete Pflauze, das fertige Thier selbst ist, wie die histologischen Untersuchungen gezeigt haben, nichts als ein Bauwerk von Zellen und Cytoden, resp. von Stoffen, die aus der Thätigkeit oder Umwandlung von Zellen hervorgegangen sind. Kurz wir haben in den letzten 50 Jahren die Zelle als das „Lebenselement" kennen gelernt, als den „Elementarorganismus", aus dessen Differenzirung der Formenreichthum der Organismen entspringt, aus dessen Lebensthätigkeit ihre Leistungen resultiren. Diese wichtige Erkenntniss, welche den unsterblichen Arbeiten von SCHLEIDEN, SCHWANN, MAX SCHULTZE, VIRCHOW, BRÜCKE, HAECKEL und Anderen zu danken ist, wird für immer die feste Grundlage liefern, auf der sich das Verständniss des gesammten pflanzlichen und thierischen Lebens aufbaut; denn um Körperformen und Lebensthätigkeiten der Organismen wirklich begreifen zu können, ist es unumgänglich nothwendig, dass man bis auf die Formen und Lebensvorgänge ihrer Elemente zurückgeht.

Es lohnt sich, einen kurzen Umblick zu halten, wieweit die einzelnen Disciplinen der organischen Naturforschung diesen äusserst fruchtbaren Gedanken bisher ausgebeutet haben.

Von Seiten der morphologischen Forschung ist die ausgesprochene Forderung längst anerkannt worden, und die Anatomie und Entwicklungsgeschichte der Thiere nnd Pflanzen verdanken dieser Erkenntniss ihre heutige herrschende Stellung auf dem

organischen Gebiete der Naturforschung, im besondern der Zoologie. In der That wäre die ganze Zoologie noch jetzt weiter nichts als eine gewaltige Sammluug von unzusammenhängenden Thatsachen, wenn nicht die vergleichende Anatomie, indem sie bis zu den Zellen der Gewebe, die Entwicklungsgeschichte, indem sie bis zu den Eizellen mit den Mitteln der modernen Technik vordrang, den inneren Zusammenhang in der organischen Welt gezeigt hätte.

Auf physiologischem Gebiet dagegen ist das Princip, die Lebensvorgänge der Thiere und Pflanzen bis auf die Thätigkeit der Lebenselemente zurückzuführen, noch sehr unvollständig durchgedrnngen. Obgleich RUDOLF VIRCHOW schon vor 30 Jahren in seiner klassischen „Cellularpathologie" durch die geistvolle Anwendung der Zelltheorie auf physiologische und besonders pathologische Verhältnisse der künftigen biologischen Forschung den Weg wies, ist dieser seitdem von Physiologen doch nur sehr wenig betreten worden. Eigentlich haben ihn nur die Pflanzenphysiologen weiter verfolgt, und wiederum haben sie gerade auf ihm so bedeutende Erfolge in der Botanik errungen. Die gesammte Physiologie des Menschen sowohl wie der Thiere aber hat sich der Methode bis auf die Zelle zurückzugehen nur in höchst seltenen Fällen bedient, eine Thatsache, die von der grössten Bedeutung für eine Beurtheilung der heutigen physiologischen Forschung ist, denn sie erklärt in Verbindung mit der gänzlichen Vernachlässigung einer vergleichenden Physiologie und Physiogenie die völlig einseitige Entwicklung der physiologischen Wissenschaft.

Vor allen Zweigen der Physiologie trifft diese Bemerkung besonders die Psychologie.

Freilich wird von manchen Physiologen leider die Psychologie noch immer nicht als Theil der Physiologie anerkannt; indessen wenn die Physiologie die Erforschung der Lebenserscheinungen als ihre Aufgabe betrachtet, dann liegt die Inconsequenz dieser Auffassung auf der Hand, denn die psychischen Vorgänge sind ebenso gut Lebenserscheinungen als z. B. die Stoffwechselvorgänge. Der grössere Theil der Physiologen theilt ja auch diese Ansicht, und so hat denn die Physiologie schon eine Reihe psychologischer Untersuchungen aufzuweisen, die, besonders wenn man die Erfahrnngen der Psychiatrie einrechnet, bereits werthvolle Aufschlüsse über gewisse Fragen gegeben haben. Namentlich ist die Physik der Nerven und Sinnesorgane,

die Erforschung der Gehirnfunctionen, sowie ihre Voraussetzungen und Beziehungen zu einander Ziel der Forschung gewesen. Ein exacter Versuch, das eigentliche Wesen eines psychischen Vorgangs zu erforschen, ist jedoch von physiologischer Seite noch nie unternommen worden, und das mit Recht, da man von der üblichen Methode von vornherein nicht erwarten kann, dass sie zu einem Erfolge führt. Es kann unmöglich zu einer Erkenntniss in dieser Richtung kommen, solange ausschliesslich die complicirten Seelenvorgänge des Menschen oder der höheren Thiere Gegenstand der Untersuchung bleiben. Auf dem Wege, den die heutige physiologische Forschung geht, begegnet man aber als Untersuchungsobjecten fast ausschliesslich dem Menschen, dem Hunde, dem Kaninchen, dem Meerschweinchen und dem Frosch; niedrere als Wirbelthiere haben überhaupt zu physiologischen Zwecken nur sehr selten, zu speciell psychologischen fast niemals Verwendung gefunden.

Dem gegenüber hat man auf zoologischer Seite verschiedene Male den Versuch gemacht, die psychischen Vorgänge des Menschen und der höheren Thiere durch die Erforschung des Seelenlebens niederer Thiere verstehen zu lernen. Diesen Bemühungen liegt folgende richtige und werthvolle Erwägung zu Grunde. In Bezug auf die morphologischen Verhältnisse ist es erwiesen, dass die Thiere im grossen Ganzen betrachtet eine lange Entwicklungsreihe bilden, in der Weise, dass der Mensch und die höheren Thiere aus niederen Thieren hervorgegangen sind. Will man die Formenverhältnisse der höheren Thiere richtig verstehen, so muss man sich also an die niederen wenden, aus denen diese hervorgegangen sind, um dort die ursprünglicheren und einfacheren Formen, die Anfänge einzelner Organe etc. zu finden. Die gleiche Betrachtung gilt natürlich auch für die psychischen Erscheinungen, und so muss in der That die Erforschung des Seelenlebens niederer Thiere Licht über die Psychologie der höheren Thiere und des Menschen verbreiten. Es ist daher auch eine Reihe von Arbeiten erschienen, unter denen sich sowohl solche befinden, die das Seelenleben einzelner Thierklassen behandeln, als auch solche, in denen allgemein eine Behandlung des Seelenlebens aller Thiere Platz gefunden hat. Eine Aufführung und Kritik derselben dürfte jedoch hier nicht am Platze sein. Was aber als ein höchst charakteristisches Zeichen betrachtet werden kann, das ist, dass es fast ebenso viele verschiedene Ansichten wie Beobachter über das Seelen-

leben der Thiere gegeben hat. Dieser Umstand deutet auf einen Fehler in der Methode hin, der wie man sich bei einer Durchsicht der betreffenden Arbeiten, in denen sonst ein sehr werthvolles Material aufgespeichert ist, sehr bald überzeugen kann, darin liegt, dass der von den Zoologen verfolgte Gedanke, vielleicht alt hergebrachten Vorurtheilen zu Liebe, nicht consequent bis zum Ende durchgeführt worden ist. Man hat, um das Seelenleben der höheren Thiere zu verstehen, zwar zurückgegriffen auf niedere Thiere, aber man ist nicht methodisch vorgegangen, sondern hat von ganz äusserlichen Gründen geleitet mitten aus der Thierreihe die eine oder die andere Gruppe, mit besonderer Vorliebe die Insecten, herausgegriffen, ohne bis auf die allerniedrigsten Organismen zurückzugehen, d. h. die Erforschung der psychischen Vorgänge bei den Elementarorganismen zu beginnen, um von hieraus im Sinne der thierischen Entwicklung emporsteigend schliesslich zu einem Verständniss der psychischen Erscheinungen bei den höchsten Thieren und dem Menschen zu gelangen.

Die fundamentale Bedeutung der Elementarorganismen für die Erforschung aller Lebensvorgänge der Thiere und Pflanzen, welche Eingangs so sehr betont wurde, ist der leitende Grundgedanke bei den folgenden Untersuchungen gewesen, und hiermit ist der Standpunkt, von dem dieselben angestellt wurden, zur Genüge gekennzeichnet.

Von allen Elementarorganismen sind die Protisten ohne Zweifel aus zwei Gründen die geeignetsten für die Untersuchung der psychischen Vorgänge. Einerseits, weil sie als freilebende Wesen von ihrer Umgebung in höherem Maasse unabhängige und selbstständige Einheiten repräsentiren, die sich nicht so einseitig zur Ausübung einer einzelnen Function entwickelt haben, wie die meisten Gewebselemente; andrerseits aber, weil sie als die directen Nachkommen der ersten und niedrigsten Lebewesen überhaupt zu betrachten sind und diesen noch verhältnissmässig nahe stehen. Unter den Protisten finden sich die einfachsten bekannten Lebewesen, welche Formen gleichen, aus denen sich alle höheren Thiere und Pflanzen entwickelt haben, und es ist klar, dass sich bei ihnen die ersten Keime der psychischen Erscheinungen, welche bei den höheren und höchsten Thieren, sowie beim Menschen angetroffen werden, vorfinden müssen.

Es wird allerdings noch jetzt von vielen Seiten, und zwar nicht allein von rein speculativen, sondern auch von streng wissenschaftlichen Forschern die unbegründete Behauptuug aufgestellt, dass den Thieren, wenigstens den niederen, kein Seelenleben zukomme. Soweit diese Behauptung sich auf sachliche Gründe zu stützen vorgiebt, ist sie von Seiten HAECKELS[1]) verschiedentlich in unübertrefflicher Weise beleuchtet worden; soweit sie aber auf eine bestimmte Fassung des Begriffs „Seele“ zurückzuführen ist, wird sie am Schluss dieser Untersuchungen noch eine Kritik erfahren. Hier mag nur noch einmal darauf hingewiesen werden, dass von unserem Standpunkt aus die Continuität in der Entwicklung der Thiere auch eine Continuität in der Entwicklung der Psyche erfordert, und damit die Existenz einer Psyche bei den Protisten in primitiver Form. Uebrigens stützt sich die Berechtigung dieses Standpunkts auch auf die Anschauungen zahlreicher namhafter Forscher.

Bisherige Litteraturangaben über das Seelenleben der Protisten.

Untersuchungen über die Seele der Protisten sind bisher noch niemals angestellt worden. Dagegen finden sich in der Protisten-Litteratur zerstreut einige Beobachtungen und Bemerkungen über die psychischen Vorgänge bei Protisten, welche einzelne Protistenforscher bei anderen Untersuchungen zu machen Gelegenheit hatteu. Aber auch diese wenigen Aeusserungen sind theils so unbestimmt und vorsichtig, theils untereinander so widersprechend, dass es schlechterdings unmöglich ist, daraus eine einigermassen klare Vorstellung über die psychischen Verhältnisse der niedrigsten Lebewesen zu gewinnen.

Schon im vorigen Jahrhundert, als mikroskopische Beobachtungen der kleinsten Lebewesen theils wegen der interessanten, sich daran knüpfenden Probleme, theils wegen des blossen Vergnügens an den mannigfaltigen Bildern, welche sich dem Auge darboten, bei Forschern sowie Laien Modesache geworden waren, tauchte die Frage nach dem Seelenleben dieser Organismen auf. Die eine Partei, voran der durch sein vortreffliches Infusorien-

[1]) Haeckel: „Freie Wissenschaft und freie Lehre“. Stuttgart 1878.

werk rühmlichst bekannte OTTFRIED MÜLLER[2]), glaubte diesen Wesen eine Seele überhaupt absprechen und ihre thierische Natur ganz und gar leugnen zu müssen, während die andere Partei, darunter der ebenfalls durch seine Infusorienbeobachtungen bekannte GRAF VON GLEICHEN-RUSSWURM[3]) und der Leipziger Professor CHRISTIAN AUGUST CRUSIUS[4]) den Infusorien eine Seele zuschrieben, die sich von derjenigen der anderen Thiere nicht unterscheiden solle. Erstere Ansicht stützte sich mehr auf weitergehende Speculationen, letztere mehr auf die Beobachtung und Deutung der Bewegungen verschiedener Infusorien.

* * *

Seitdem ist in dieser Frage ein Jahrhundert lang kein wesentlicher Schritt vorwärts gethan worden, und erst in neuerer Zeit haben einige Beobachter gelegentlich dieselbe unter Zugrundelegung wichtiger Thatsachen wieder berührt.

So widmete M. PERTY[5]) in seinem Werke über die kleinsten Lebensformen der Betrachtung des „sensuellen und psychischen Lebens“ dieser Organismen einen Abschnitt, in welchem er folgende Ansicht ausspricht: „Man darf glauben, dass hier, wo ein Nervensystem ganz fehlt, von einem individuellen Bewusstsein nicht die Rede sein könne.“ „Weil aber durch die Naturpsyche, die in uns auch verdaut, athmet, bildet, das Vernünftige und Zweckmässige geschieht, so glauben wir in den Infusorien subjectives Gefühl, Willen, Seele zu sehen, wenn sie die für ihre Idee und Lebensstufe nöthigen Bewegungen machen, wenn sie Angst bei der Abnahme des Wassers, schmerzhafte Zusammenziehungen im Tode zeigen.“ „Manche wissen zu erzählen von dem Instincte dieser Thierchen, wie sie den Raub verfolgen — das ist fabelhaft, die angebliche individuelle Reflexion und Besonnenheit sind grossentheils nur Schein.“

* * *

[2]) O. F. Müller: „Vermium terrestrium et fluviatilium seu animalium infusoriorum succincta historia“. Hauniae et Lipsia 1773.

[3]) W. Fr. v. Gleichen-Russwurm: „Abhandlung über die Saamen- und Infusionsthierchen und über die Erzeugung etc.“. Nürnberg 1778.

[4]) Christ. Aug. Crusius: „Anleitung, über natürliche Begebenheiten ordentlich und vorsichtig nachzudenken“. Leipzig 1749, Theil II.

[5]) M. Perty: „Zur Kenntniss kleinster Lebensformen nach Bau, Function, Systematik“. Bern 1852.

In seinem 1862 erschienenen Radiolarienwerk äussert HAECKEL[6]) in dem Abschnitt, welcher die physiologischen Erscheinungen bei diesen Protisten behandelt, folgende Ideen über das Seelenleben derselben: „Empfindung oder eine mit Bewusstsein verbundene Reaction gegen äussere Reize ist bisher bei keinem Radiolar und überhaupt bei keinem Rhizopoden mit Sicherheit wahrgenommen worden. Das Bewusstsein der Rhizopoden erscheint ebenso problematisch, wie der Wille in ihren Bewegungen. Die Erscheinungen der Reizbarkeit, ... sind nicht der Art, dass man daraus mit Wahrscheinlichkeit (und eine solche ist ja immer nur in dieser Frage zu erreichen) auf ein Bewusstsein dieser Organismen schliessen könnte" (p. 128).

Indem HAECKEL dann die Charaktere prüft, welche gewöhnlich zur Unterscheidung von Thieren und Pflanzen herangezogen werden, stellt er in Betreff der psychischen Erscheinungen folgende Betrachtungen an: „Eine Spur von Bewusstsein lässt sich in diesen Aeusserungen von Reizbarkeit so wenig nachweisen, als bei den bekannten, sehr empfindlichen Reactionen der Mimosen, der Dionaea muscipula und anderer höherer Pflanzen." „Nicht besser aber steht es mit der Bewegung." „Die Unterscheidung der willkürlichen und unwillkürlichen Bewegung ist sicher nicht minder schwierig, als die Feststellung der Grenze zwischen Empfindung und Reizbarkeit." „In irgend einer der oben geschilderten Rhizopoden-Bewegungen einen Act der Willkür nachzuweisen, ist zur Zeit unmöglich. Wollte man das Ausstrecken und Einziehen, das Verschmelzen und Auseinandergehen der Pseudopodien als eine willkürliche Bewegung auffassen, so ist man dazu ebenso bei dem Protoplasma innerhalb der Zellen der Staubfädenhaare von Tradescantia berechtigt." „Ebenso wenig wie die Sarcodeströmung im allgemeinen, lassen sich die andern Bewegungserscheinungen der Rhizopoden als Acte des Willens auffassen" etc.

* * *

Im Jahre 1865 wurde CIENKOWSKI[7]) bei seinen Untersuchungen über die sogenannten Monaden durch die Beobach-

---

[6]) Haeckel: „Die Radiolarien. Eine Monographie". Berlin 1862.

[7]) Cienkowski: „Beiträge zur Kenntniss der Monaden". Im Arch. f. mikroskop. Anatomie Bd. 1, 1865.

tungen, welche er bei der Nahrungsaufnahme dieser Protisten machte, zu folgenden Bemerkungen veranlasst: „Obwohl die Zoosporen- und Amoeben-Zustände der Monaden nur nackte Protoplasmakörper vorstellen, so ist trotzdem ihr Verhalten bei Aufsuchen und Aufnahme der Nahrung so merkwürdig, dass man Handlungen bewusster Wesen vor sich zu sehen glaubt. So sticht z. B. die Colpodella pugnax die Chlamydomonas an, saugt das heraustretende Chlorophyll und läuft davon. Einen zweiten seltsamen Fall dieser Art bildet die Vampyrella Spirogyrae. Die zu ihr gehörende Amoebe legt sich nämlich an gesunde Spirogyren an, bohrt die Zellwand durch und verschlingt den langsam heraustretenden Primordialschlauch mit dem Chlorophyllbande zusammen. Und nur an Spirogyren scheint sie den Hunger stillen zu können" etc.

„Ohne uns hier in das dunkle Gebiet, wo der eigentliche Wille im Thierreiche anfängt und an welches Minimum der Organisation er gebunden ist, vertiefen zu können, müssen wir zugeben, dass auch in dieser Hinsicht von der Pflanze zum Thier eine ununterbrochene Reihe steigender Erscheinungen sich vor dem Beobachter entfaltet." „Ob diese Handlungen als erste Anfänge einer Willensäusserung anzusehen, oder vielmehr in dieselbe Kategorie von Erscheinungen, wie das Eindringen der Pollenschläuche, der Samenkörper in das Ei und dergl. zu bringen sind, muss ich dahingestellt sein lassen."

* * *

Einige specielle Beobachtungen an Vorticellenknospen veranlassten Engelmann[8]) im Jahre 1876 zu einer kurzen Berührung der Frage nach dem Seelenleben dieser Protisten. Er hatte nämlich beobachtet, wie sich die Knospen bildeten, vom Mutterkörper losrissen und fortschwammen: „Anfangs schwärmten die Knospen . . . mit ziemlich constanter Geschwindigkeit, und immer um ihre Längsaxe rotirend, meist in ziemlich gerader Richtung durch den Tropfen. Dies dauerte 5—10 Minuten oder noch länger, ohne dass etwas Besonderes geschehen wäre. Dann änderte sich plötzlich die Scene. Zufällig in die Nähe einer festsitzenden Vorticelle gerathen, änderte die Knospe, zuweilen

[8]) Engelmann: „Ueber Entwicklung und Fortpflanzung von Infusorien". In morphol. Jahrb. v. Gegenhaur Bd. I, 1876.

wie mit einem Ruck, ihre Richtung und nahte nun tanzend wie ein Schmetterling, der um eine Blume spielt, der Vorticelle, glitt wie tastend und dabei immer um die eigene Längsaxe rotirend, auf ihr hin und her. Nachdem dies Spiel minutenlang gedauert hatte, auch wohl nacheinander bei verschiedenen festsitzenden Individuen wiederholt worden war, setzte sich die Knospe endlich fest."

Dies die eine Beobachtung. Eine zweite wird in einer Anmerkung zu der ersten mitgetheilt: „Ein in physiologischer und speciell psychophysiologischer Beziehung noch merkwürdigeres Schauspiel beobachtete ich ein anderes Mal. Eine frei schwärmende Knospe kreuzte die Bahn einer mit grosser Geschwindigkeit durch den Tropfen jagenden grossen Vorticelle, die auf die gewöhnliche Weise ihren Stiel verlassen hatte. Im Augenblick der Begegnung — Berührung fand inzwischen durchaus nicht statt — änderte die Knospe plötzlich ihre Richtung und folgte der Vorticelle mit sehr grosser Geschwindigkeit. Es entwickelte sich eine förmliche Jagd, die etwa 5 Secunden dauerte. Die Knospe blieb während dieser Zeit nur etwa $^1/_{15}$ mm hinter der Vorticelle, holte sie jedoch nicht ein, sondern verlor sie, als dieselbe eine plötzliche Seitenschwenkung machte. Hierauf setzte die Knospe mit der anfänglichen, geringeren Geschwindigkeit ihren eigenen Weg fort. — Diese Vorgänge sind wie die im Text geschilderten darum merkwürdig, weil sie eine feine und schnelle Perception, rasche und sichere Willensentscheidung und fein abstufbare motorische Innervation (s. v. v.) verrathen. Sie zeigen, bis zu welcher erstaunlichen Höhe und Vielseitigkeit die physiologische Differenzirung in animaler Richtung im Rahmen einer einfachen Zelle steigen kann!"

* * *

Diese Beobachtung ENGELMANNS hat den Weg durch eine grosse Anzahl biologischer Werke gefunden, und dass derselben eine so grosse Bedeutung beigemessen worden ist, erklärt sich wohl nur dadurch, dass sonst so wenig ähnliche Beobachtungen in die Litteratur eingeführt worden sind.

Derselbe Forscher[9]) glaubt auch das Auftreten und Verschwinden von Gasblasen im Protoplasma mancher beschalten

[9]) Engelmann: „Beiträge zur Physiologie des Protoplasma". In Pflügers Arch. Bd. 2, 1869.

Rhizopoden mit psychischen Processen in Verbindung bringen zu müssen.

* * *

In der bekannten, auf der 50. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte im Jahre 1877 zu München gehaltenen Rede [10]) behandelt HAECKEL gestützt auf Beobachtungen, die er an Moneren (besonders Protomyxa und Myxastrum) machte, die Seelenfrage allgemeiner, nachdem er schon in seiner „Perigenesis der Plastidule“ [11]) die gleichen Ideen berührt hatte. Indem er zunächst nachweist, dass man aller organischen Materie in gewissem Sinne eine Seele zuschreiben müsse, sagt er weiter: „Diese Auffassung wird endgültig begründet durch das Studium der Infusorien, Amoeben und anderen einzelligen Organismen. Denn hier treffen wir bei den einzelnen, isolirt lebenden Zellen dieselben Aeusserungen des Seelenlebens, Empfindung und Vorstellung, Willen und Bewegung, wie bei den höheren, aus vielen Zellen zusammengesetzten Thieren! Nun ist aber ebensowohl bei diesen letzteren socialen Zellen, wie bei jenen ersteren Einsiedlerzellen das Seelenleben der Zelle an eine und dieselbe wichtige Zellsubstanz, an das Protoplasma gebunden. Wir sehen sogar an den Moneren und anderen einfachsten Organismen, dass einzelne abgelöste Stückchen des Protoplasma ebenso Empfindung und Bewegung besitzen, wie die ganze Zelle. Danach müssen wir annehmen, dass die Zellseele, das Fundament der empirischen Psychologie selbst wieder zusammengesetzt ist, nämlich das Gesammtresultat aus den psychischen Thätigkeiten der Protoplasma-Moleküle, die wir kurz Plastidule nennen. Die Plastidulseele wäre demnach der letzte Factor des organischen Seelenlebens.“ Im weiteren Verlauf der Betrachtung zeigt HAECKEL dann, dass auch die Plastidulseele noch zusammengesetzt ist aus der Summe ihrer Atomkräfte, diese aber „können wir in consequent monistischem Sinne auch ‚Atom-Seele‘ nennen.“

In Anmerkungen zu diesen Betrachtungen werden die Begriffe „Zellseele“, „Plastidulseele“ und „Atomseele“ noch weiter

---

[10]) Haeckel: „Ueber die heutige Entwicklungslehre im Verhältniss zur Gesammtwissenschaft“. 1877. In gesammelt. pop. Vortr. a. d. Gebiet d. Entwicklungslehre.

[11]) Haeckel: „Ueber die Wellenzeugung der Lebenstheilchen oder die Perigenesis der Plastidule“. Berlin 1876.

präcisirt: „Zellseele in monistischem Sinne ist die Gesammtheit der Spannkräfte, die im Protoplasma aufgespeichert sind. Die Zellseele ist also an ihren Protoplasmaleib ebenso unzertrennlich gebunden, wie die menschliche Seele an das Gehirn und Rückenmark.“ „Plastidulseele. Die Plastidule oder Protoplasmamoleküle, die kleinsten gleichartigen Theile des Protoplasma, sind nach unserer Plastidentheorie als die activen Factoren aller Lebensthätigkeiten zu betrachten. Die Plastidulseele unterscheidet sich von der anorganischen Molekülseele durch den Besitz des Gedächtnisses.“ „Atomseele. Die neueren Streitigkeiten über die Beschaffenheit der Atome, die wir in irgend einer Form als letzte Elementar-Factoren aller physikalischen und chemischen Processe anerkennen müssen, scheinen am einfachsten durch die Annahme gelöst zu werden, dass diese kleinsten Massentheilchen als Kraftcentra eine constante Seele besitzen, dass jedes Atom mit Empfindung und Bewegung begabt ist.“

In zahlreichen anderen Schriften HAECKELS sind diese Ideen in ähnlicher Form niedergelegt.

* * *

Anknüpfend an die ENGELMANNSCHE Beobachtung bei den Vorticellenknospen stellt OSCAR SCHMIDT[12]) in Brehms Thierleben einige Betrachtungen über das Seelenleben der Infusorien und Rhizopoden an. Nachdem er in Bezug auf die Beobachtung ENGELMANNS auf die Möglichkeit einer anderen Erklärung der betreffenden Vorgänge hingewiesen hat, betont er die grossen Schwierigkeiten, auf die man bei der Frage nach dem Seelenleben der Protisten stösst. „Die Lösung unserer Aufgabe würde sich finden, wenn wir ein Mittel hätten, die willkürlichen Bewegungen des Protoplasma der niedrigen Organismen, unserer Protozoen, von den unwillkürlichen zu unterscheiden. Das Fliessen des Protoplasma in den Pflanzenzellen nennen wir ein unwillkürliches, weil wir annehmen, dass es nur Ausdruck chemischer und physikalischer Vorgänge im Innern der Zelle und die Antwort auf ebensolche äussere Reize sei, ohne jede Spur dessen, was wir nach unseren Erfahrungen Empfindung, Vorstellung, Bewusstsein nennen.“

[12]) Oscar Schmidt: „Die niederen Thiere“ in Brehms Thierleben Bd. 10. 2. Auflage. Leipzig.

„Ich kann annehmen, dass es dem Protoplasma der Gromie schmeckt, ich komme aber über diese unbestimmte Annahme nicht hinaus und darf keinen Einwand erheben, wenn ein Freund der Beseelung der Pflanzen auch für diese die Nahrungsaufnahme zu einer mit Vergnügen verbundenen Handlung stempelt. Aber eine wichtige Erfahrung machen wir doch: *wir sehen, dass in dem Reiche der Protisten, an welches sich die Infusorien unmittelbar anschliessen, die Reizbarkeit des Protoplasma und die Fähigkeit, auf verschiedene Reize in verschiedener Weise zu antworten, zunimmt.* Dies wird die Veranlassung zur Herausbildung und Fixirung von Unterschieden. Die Infusorien zeigen uns die Scheidung der in den niedrigen Protistenklassen dem Auge noch ganz gleichförmigen Körpersubstanz so weit gediehen, dass die bewegenden Protoplasmastreifen gar nichts mehr mit der verdauenden Masse zu thun haben. Sie besitzen wirkliche Bewegungsorgane, und in diesen hat zugleich die Reizbarkeit so zugenommen, dass sie den Reiz fast mit derselben Geschwindigkeit fortpflanzen, als es in den mit Nerven versehenen Thieren geschieht. Das Zusammenzucken eines vielverzweigten Vorticellenbäumchens geschieht vor unseren Augen blitzschnell. Und doch musste der Reiz, der etwa durch einen Stoss auf ein Thier der Colonie ausgeübt wurde, durch den Stamm hindurch in alle Zweige bis zu den auf ihren Gipfeln stehenden Thierchen fortgeleitet werden, ehe das Zusammenfahren erfolgen konnte.

Haben unsere Vorticellen hierbei und hiervon eine Empfindung, eine Art von Bewusstsein? Ja und nein. Sie müssen etwas wie Empfindung spüren, etwas wie Bewusstsein muss sich auf den Stoss entwickeln. Aber noch ist die Zusammensetzung des Körpers, die Theilung der Arbeit nicht so weit gediehen, dass die Stoss- oder Tastempfindung von einem sogenannten nicht zum vollen Bewusstsein gelangenden Muskelgefühle sich trennen liesse. Aehnliches gilt vom Geschmack, indem ein Theil oder ein grosser Theil der bei der Nahrungsaufnahme stattfindenden Vorgänge sich vielleicht einst auf die Gesetze der chemischen Wahlverwandtschaft wird zurückführen lassen. Aus einem solchen kaum vorstellbaren dunkelsten Allgemeingefühle kann auch das Infusionsthier nicht heraustreten.“

* * *

Die gleiche Beobachtung ENGELMANNS ist ferner von G. H. SCHNEIDER[13]) herbeigezogen worden. Im allgemeinen nimmt derselbe an, dass die Handlungen der Protisten aus Trieben hervorgehen, denen gewisse Empfindungen zu Grunde liegen, welche nur durch directe Berührung des Protistenkörpers mit manchen Gegenständen erzeugt werden. Die Beobachtung ENGELMANNS an der Vorticellenknospe scheint ihm jedoch ein Beweis dafür zu sein, „dass schon ein Wimperthierchen ein anderes seiner Gattung in unvollkommenem Grade aus der Entfernung zu unterscheiden vermag".

* * *

ROMANES[14]) schreibt veranlasst durch eine Angabe CARPENTERS[15]) den Protisten sogar ein sehr weitgehendes Unterscheidungsvermögen zu: „we find definite evidence of this power of discriminative selection even lover down in the scale of life than the cellular plants; we find it even among the protoplasmic organismes. Thus, to quote an instructive case from Dr. Carpenter: ‚The Deep-Sea researches on which I have recently been engaged have not exercised my mind on any topic so much as on the following: — Certain minute particles of living jelly, having no visible differentiation of organs . . . . build up „tests" or casings of the most regular geometrical symmetry of form, and of the most artificial construction . . . . From the same sandy bottom one species picks up the coarser quartz-grains, cements them together with phosphate of iron (?), which must be secreted from their own substance; and thus constructs a flask-shaped „test" having a short neck and a single large orifice. Another picks up the finer grains and puts them together with the same cement into perfectly spherical „tests" of the most extraordinary finish, perforated with numerous small tubes, disposed at pretty regular intervals. Another selects the mintest sandgrain and the terminal points of sponge-spicules, and works these up together-apparently with no cement at all, but by the „laying" of the spicules-into per-

---

[13]) G. H. Schneider: „Der thierische Wille". Leipzig 1880.

[14]) Romanes: „Mental evolution in animals". London. Deutsche autorisirte Ausgabe. Leipzig 1885.

[15]) Carpenter in „Contemporary Review", april 1873.

fect spheres, like homoeopathic globules, each having a single fissured orifice'."

* * *

In seinem Buche über Protoplasmamechanik macht BERTHOLD*) bei der Besprechung der Nahrungsauswahl der Protisten darauf aufmerksam, dass auch leblose Flüssigkeiten nicht alle Stoffe in sich aufnehmen, sondern nur solche von bestimmter chemischer Zusammensetzung, und sagt: „Es berechtigt darum die Fähigkeit auch der niederen Organismen, eine Nahrungsauswahl zu treffen, ebenso wenig wie die früher besprochene Fähigkeit, nur von specifischen äusseren Reizen in ihrer Bewegung beeinflusst zu werden, zu der Annahme, dass ihnen ebenso wie den höheren Organismen ausgebildete psychische Fähigkeiten, Empfindung, Bewusstsein und Wille zukomme, wie das einige Physiologen, z. B. ENGELMANN neuerdings auf Grund dieser Verhältnisse glaubten annehmen zu müssen."

* * *

1887 gab MOEBIUS[16]) aus Anlass seiner Beschreibung des Flaschenthierchens (Folliculina ampulla O. F. Müller) einige Mittheilungen über das psychische Leben desselben. „In dem Augenblick, wo sich der junge Sprössling von dessen Mutter trennt, beginnt sein eigen-individuelles psychisches Leben, dessen Bereicherung dann von der Ausbildung und Thätigkeit der Organula abhängt. Auf die Empfindung des freien Schwimmens können erst Empfindungen des Druckes der Hülsenwand folgen, nachdem diese ausgeschieden ist. Sohald die jungen Trichterlappen mit den Pectinellen und Flimmerläppchen sich entfalten, um der ausgebildeten Mundhöhle Nährstoffe zuzutreiben, erhält das junge Flaschenthierchen mit der Empfindung gewisser eigener Bewegungen zugleich auch die Empfindung des strömenden Wassers gegen den Trichtergrund hinab, die Empfindung des Eindringens der Nährstoffe in den Mund, des Druckes derselben gegen die Mundwand und Empfindungen der Schluckbewegungen

---

*) Berthold: „Studien über Protoplasmamechanik". Leipzig 1886.

[16]) Moebius: „Das Flaschenthierchen, Folliculina ampulla". In Festschrift zur Feier des fünfzigjährigen Bestehens d. Naturwissenschaftl. Vereins in Hamburg. 1887. Hamburg.

der Mund- und Schlundwand. Haben die Nahrungsballen ihren Weg durch das Verdauungsplasma zurückgelegt und sind sie im Fäkalkanal angelangt, so werden sie Druckempfindungen verursachen, welche Verengerungsbewegungen mit Entleerungen hervorrufen.“ Der Verfasser kommt bei seinen Untersuchungen zu folgendem Schluss: „In Infusionsthieren, welche bleibende Organula haben, können Erinnerungen entstehen, indem bei der Wiederholung derselben Thätigkeiten das Bewusstsein auftaucht, die mit diesen verknüpften Empfindungen bereits gehabt zu haben.“

* * *

Ganz neuerdings hat EIMER[17]) Veranlassung genommen, die Seelenfrage bei den Protisten zu berühren. Er sagt: „Die Wimperinfusorien verhalten sich gegenüber der Aussenwelt so, dass man ihnen entschieden Willen zuschreiben muss. Schon die einfache Betrachtung der Art ihrer Ortsveränderung, abgesehen von Anderem, beweist dies. Die Ortsveränderung ist eine ganz willkürliche und ihre Mannigfaltigkeit kann dadurch bewirkt werden, dass bald alle, bald diese oder jene Wimpern langsamer oder schneller in Bewegung gesetzt oder stille gehalten werden. Die hypotrichen Wimperinfusorien, wie z. B. Euplotes charon, rudern bald mit rascher Wimperbewegung durch das Wasser, bald laufen sie auf dem festen Boden, auf Algen und dergl., ihre Wimpern wie Beine benutzend, indem sie sich ähnlich den Asseln bewegen. Das gegenseitige Verhalten solcher Infusorien machte auf Beobachter (ENGELMANN) sogar den Eindruck, als ob sie sich, mit einander spielend, neckisch verfolgten.“

Da aber EIMER die Begriffe Wille und Empfindung durchaus an Nervensubstanz bindet, da ihm Wille und Empfindung vererbte erworbene Eigenschaften sind, so hilft er sich mit folgender Annahme: „Wir können an diesen geistig begabten Infusorien keine Nerven und kein Gehirn nachweisen. Es ist mir auf Grund der Vergleichung mit Verhältnissen der Zellen der vielzelligen Thiere wahrscheinlich, dass ihre Kerne, während sie

---

[17]) Eimer: „Die Entstehung der Arten auf Grund von Vererben erworbener Eigenschaften nach den Gesetzen organischen Wachsens“. I. Theil. Jena 1888.

zugleich der Fortpflanzung dienen, oder dass einer derselben auch als Centralorgan des Nervensystems thätig sei. Dafür spricht, was neuerdings gezeigt worden ist, dass von einem in zwei Theile zerschnittenen Infusorium nur der Theil wieder zu einem ganzen Thiere heranwächst, welcher den Nucleus oder wenigstens ein Stück desselben enthält."

* * *

Schliesslich spricht sich Géza Entz[18]) über die Seele der Infusorien wie folgt aus: „Die Cilienbewegungen werden gleichsam selbstbewusst und mit einer den obwaltenden Umständen entsprechenden Zweckmässigkeit begonnen und eingestellt." „Der Unterschied von Geisseln und Cilien der Gewebszellen" ist nach Géza Entz der, „dass die letzteren ihre Schwingungen mit vom Willen des Thieres ganz unabhängiger Maschinenmässigkeit verrichten." „Dem gegenüber haben die Protisten die Thätigkeit ihrer Geisseln und Cilien (und nicht minder die der Pseudopodien und Tentakeln) vollkommen in ihrer Macht." Auch die Reactionen auf Reize scheinen ihm mit höheren psychischen Vorgängen verbunden zu sein, und so kommt er zu dem Schluss: „alle diese Thatsachen .... lassen keinen Zweifel darüber, dass die Protisten fühlen".

* * *

Ausser diesen Angaben finden sich noch kurze vereinzelte Bemerkungen in den Arbeiten von Max Schultze, Rossbach, Gruber und Anderen.

Schliesslich ist von pflanzenphysiologischer Seite durch Beobachtung und Versuch ein äusserst werthvolles Thatsachenmaterial gesammelt worden, welches für die Seelenfrage bisher noch fast gar nicht verwerthet wurde, obgleich dasselbe für eine Untersuchung der psychischen Processe in der Zelle eine hohe Bedeutung besitzt.

* * *

Die vorstehenden Litteraturangaben haben deshalb hier so ausführlich Platz gefunden, weil sie wohl ziemlich die einzigen

---

[18]) Géza Entz: „Studien über Protisten". Im Auftrage d. kön. Ung. Naturwiss. Ges. Budapest 1888.

sein dürften, welche über das Seelenleben der Protisten vorliegen, und weil sie zugleich deutlich zeigen, wie weit die Ansichten der Forscher über diese Frage auseinandergehen.

Im allgemeinen bewegen sich die angeführten Ansichten zwischen zwei Extremen, das eine repräsentirt durch die Auffassung, dass die Protisten nur eine äusserst niedere Entwicklungsstufe in Bezug auf ihr Seelenleben vertreten, die andere durch die Ansicht von einem hoch entwickelten Seelenleben dieser Organismen, in welchem sogar die höchsten und complicirtesten Vorgänge, die wir aus unserem eigenen psychischen Leben kennen, eine Rolle spielen.

Statt einer Kritik dieser verschiedenen Ansichten und des Schlussverfahrens, auf dem sie beruhen, soll hier eine Andeutung der Gesichtspunkte Platz haben, nach denen die folgenden Untersuchungen unternommen wurden.

Die Untersuchung des Seelenlebens der Protisten enthält zwei Probleme, die sehr verschiedene Behandlung erfordern. Das eine ist die Frage nach der Höhe seiner Entwicklungsstufe, natürlich im Vergleich zu dem Seelenleben des Menschen, denn letzteres ist der einzige feste Punkt, auf welchen das Seelenleben irgend eines andern Organismus bezogen werden kann. Nach einer objectiven Betrachtung der Ergebnisse, welche Beobachtung und Versuch an den Protisten liefern, wird sich bei einer kritischen Untersuchung herausstellen, wieweit und mit welchen Erscheinungen des menschlichen Seelenlebens die Vorgänge bei den Protisten verglichen werden können. Wenn das eine Problem gelöst ist, tritt die zweite Frage nach dem Wesen und dem Zustandekommen dieser Vorgänge hervor. Das zweite Problem schliesst also eine Erklärung, ein Verständniss des Seelenlebens bis zu einem gewissen Punkte in sich. Die Lösung dieser ebenso schwierigen als wichtigen Frage ist zugleich der Schlüssel, mit dem allmählig das complicirte Seelenleben der höheren Thiere und des Menschen dem Verständniss erschlossen werden wird. Zur Lösung dieses Problems darf man daher die Erscheinungen aus dem Seelenleben des Menschen nicht verwerthen wollen, da ihr Verständniss ja selbst erst das Ziel aller psychologischen Forschung ist.

Methodik.

Man könnte bestreiten, dass es überhaupt möglich sei, irgendwelchen Aufschluss über die subjectiven Zustände eines anderen Organismus zu erlangen, da dieselben ausserhalb des Untersuchers liegen. Indessen beweist die folgende Ueberlegung trotzdem die Möglichkeit, wenigstens durch Schlüsse sichere Erfahrungen in dieser Richtung zu gewinnen. Wir kennen aus unserer subjectiven Erfahrung einerseits unsere eigenen subjectiven Zustände und andrerseits die objectiven Aeusserungen, welche dieselben charakterisiren. Hierin besitzen wir also zwei bekannte Grössen. Eine dritte bekannte Grösse können wir uns schaffen durch die Beobachtung der objectiven Aeusserungen psychischer Vorgänge bei den zu untersuchenden Organismen. Wenn nun zwischen den betreffenden Vorgängen beim Menschen und bei den Untersuchungsobjecten eine Proportion gesetzt wird, d. h. wenn beide mit einander verglichen werden, so kann man nach dem Princip

$$\frac{x}{a} = \frac{b}{c}, \qquad x = a \cdot \frac{b}{c},$$

wobei a die subjectiven Vorgänge beim Menschen, c deren objective Aeusserungen, b die objectiven Aeusserungen der subjectiven Vorgänge bei den Versuchsobjecten und x die zu erforschenden subjectiven Zustände dieser selbst sind, Aufschluss über die subjectiven Vorgänge der betreffenden Organismen erlangen. Dies ist die einzige Methode, welche zum Ziele führt und die wir auch täglich im Verkehr mit anderen Menschen anwenden. Es ist natürlich ohne weiteres klar, dass wir eine directe Vorstellung dabei nur von denjenigen psychischen Vorgängen anderer Organismen erhalten können, die bei uns selbst vorkommen, und dies wird voraussichtlich die Mehrzahl sein, denn unter den mannigfachen Erscheinungen des menschlichen Seelenlebens sind sowohl die höchsten als die niedrigsten Entwicklungsstufen psychischer Vorgänge vertreten. Aber auch von den subjectiven Vorgängen anderer Organismen, die sich nicht mit irgend welchen unseres eigenen Seelenlebens decken, können wir uns durch Analogieen indirect ein Bild construiren, wenn wir dieselben auch nicht selbst subjectiv nachzuempfinden vermögen.

Nun giebt es nur ein Kriterinm, welches den Schluss auf einen psychischen Vorgang bei anderen Organismen erlaubt, das ist die Bewegung. Die Bewegungen sind die einzigen objectiven Aeusserungen subjectiver Vorgänge, eine Thatsache, die in gleichem Grade vom Menschen wie von den Thieren gilt. Wir erfahren von den Seelenvorgängen bei anderen Menschen ebenfalls nur etwas durch seine Bewegungen. Bei der Sprache sind es die Bewegungen der Kehlkopfmuskulatur etc., welche uns durch Erzeugung von Lauten Mittheilung vom Fühlen und Denken des Nächsten machen; in der Schrift finden wir die Bewegungen der Handmuskeln als Vermittler der fraglichen Vorgänge; und schliesslich können es bei den Handlungen und Mienen des Anderen die verschiedensten Muskeln seines Körpers sein, die uns Aufschlüsse über sein Seelenleben verschaffen. Eine Uebermittelung von psychischen Processen ohne Bewegungen findet nicht statt. Aber selbst trotz Sprache und Schrift etc. ist dennoch anch beim Menschen nicht immer eine ganz vollkommene Ueberlieferung psychischer Vorgänge, besonders von Empfindungen möglich, schon aus dem Grunde, weil die Sprache für viele Empfindungen, wie sie z. B. bei manchen pathologischen Veränderungen in inneren Organen auftreten, gar keine Bezeichnungen besitzt, so dass man sich in der That oft keine genaue Vorstellung machen kann von der Art der Empfindung, über die ein Patient klagt. Es ist daher leicht möglich, dass zwei Kranke, die beide genau an derselben pathologischen Veränderung eines Organs leiden, ganz verschiedene subjective Empfindungen dabei haben. Dass die Verhältnisse für die Beurtheilung der psychischen Vorgänge bei den Thieren noch viel ungünstiger sind, liegt auf der Hand; und je tiefer man in der Thierreihe hinabsteigt, um so mehr Kritik muss man bei der Deutung der objectiven Aeusserungen für die Vergleichung der subjectiven Vorgänge mit denen des Menschen anwenden.

Nun giebt es in vielen Fällen noch einen Weg, auf dem man die mit dieser Methode erlangten Resultate in gewissem Grade controlliren kann, nämlich durch eine Untersuchung der Sinnesorgane und ihrer Beschaffenheit. Denn aus der Entwicklungsstufe derselben wird sich ergeben, ob Sinneseindrücke bestimmter Art, wie sie zu manchen psychischen Vorgängen Voraussetzung sind, überhaupt entstehen können. Ist letzteres nicht der Fall, so ist natürlich die Möglichkeit des Vorkommens der betreffenden Vorgänge ausgeschlossen. Diese Ueberlegung

ist namentlich für die Erforschung des Seelenlebens niederer Organismen sehr wichtig.

* * *

Zur Untersuchung der Bewegungen — dies gilt für alle psychologischen Untersuchungen — kann man 3 Methoden befolgen.

1. Die Methode der reinen Beobachtung, die allein darin besteht, dass man die Bewegungen und Lebensthätigkeiten der Untersuchungsobjecte genau verfolgt, um nach Gewinnung eines möglichst umfangreichen Beobachtungsmaterials Schlüsse auf die den Bewegungen zu Grunde liegenden psychischen Vorgänge ziehen zu können. Wichtig ist dabei, dass man sich nicht verleiten lässt, aus einer einzelnen Beobachtung einen Schluss zu ziehen, ein Fehler, an dem viele der bisherigen Angaben leiden, sondern, dass man stets eine grössere Reihe von Beobachtungen im Zusammenhang zu den Schlüssen verwerthet. Die Methode der reinen Beobachtung ist die älteste und schon im vorigen Jahrhundert angewendet; auf ihr beruhen die meisten in der Litteratur gemachten Angaben.

2. Die Methode der Untersuchung des Verhaltens unter künstlich gegebenen Bedingungen. Alle Verhältnisse, die während des Lebens eines Organismus in der Natur auf ihn einwirken können, werden durch das Experiment nachgeahmt und das Verhalten des Versuchsobjects ihnen gegenüber wird beobachtet. Während die vorige Methode hauptsächlich die spontanen Bewegungen ins Auge fasst, giebt diese vorwiegend Aufschluss über das Verhalten der Bewegungen auf Reize. Dies ist der Weg, auf dem die Pflanzenphysiologie viele werthvolle Thatsachen gesammelt hat.

3. Die Methode des operativen Eingriffs in den lebenden Organismus. Sie dient besonders zur Feststellung des Sitzes psychischer Vorgänge. Bei höheren Thieren, besonders Wirbelthieren, ist diese Methode schon lange mit dem grössten Erfolge von Physiologen angewendet worden. Dagegen hat man bei Protisten bisher operative Eingriffe nur selten und fast ausschliesslich zu anderen Zwecken unternommen. Die Theilungsversuche von NUSSBAUM [19]) und GRUBER [20]) zur Ermittelung

[19]) Nussbaum: „Ueber spontane und künstliche Theilung von Infusorien". In Verhandl. d. naturh. Vereins d. preuss. Rheinlande. Bonn 1884.

der Bedeutung des Zellkerns bei Regenerationen sind besonders bemerkenswerth*. Nur HAECKEL [21]) hat gelegentlich seiner Untersuchungen über Moneren die bedeutungsvolle Beobachtung gemacht, dass man Moneren (speciell Protomyxa und Myxastrum) in mehrere Stücke zertheilen kann, die sich genau so verhalten wie das unverletzte Moner. Inzwischen ist über die Beziehungen des Zellkerns zum Zustandekommen psychischer Vorgänge noch gar nichts bekannt geworden.

Die Unzulänglichkeit einer einzelnen dieser Methoden für die Erkenntniss der psychischen Vorgänge leuchtet ein; es werden deshalb auch im Folgenden die 3 Methoden combinirt Verwendung finden.

Was die speciellere Methodik betrifft, so wird dieselbe bei der Anführung der einzelnen Versuche genauer angegeben werden.

Das Untersuchungs-Material.

Die Beschaffung des geeigneten Protisten-Materials für physiologische Zwecke ist bisweilen mit den grössten Schwierigkeiten verbunden. Trotzdem man in jedem See, Teich, Sumpf etc. eine grosse Anzahl von verschiedenen Protisten stets mit Leichtigkeit finden kann, muss man doch häufig sehr lange suchen und warten, um bestimmte Formen zu erlangen, die gerade für die Untersuchung geeignet sind. Es ist klar, dass man zum Zweck des physiologischen Versuchs nicht jede beliebige Form verwerthen kann, da das Object häufig eine grosse Zahl von Bedingungen erfüllen muss, die für jede Versuchsreihe unter Umständen wieder andere sein können. Daher ist man für einen bestimmten Versuch häufig auf eine ganz bestimmte Protisten-Form angewiesen.

[20]) A. Gruber: „Beiträge zur Kenntniss der Physiologie und Biologie der Protozoen". In Ber. d. naturf. Ges. z. Freiburg i/B. 1886.

*) Kurz nach Abfassung des Manuscripts dieser Arbeit ist mir eine Arbeit von BALBIANI: „Recherches expérimentales sur la mérotomie des Infusoires ciliés". Theil I. In Recueil zoologique, Tome 5me, 1er fascicule, 1888 Genève-Bale, zu Händen gekommen, die ich leider nur habe in Anmerkungen berücksichtigen können.

[21]) Haeckel: „Studien über Moneren und andere Protisten". In Biolog. Studien Heft I. Leipzig 1870.

Die Umgegend von Berlin mit ihren vielen grossen und kleinen Seen und Sümpfen hat gerade eine besonders reiche Protistenwelt aufzuweisen, und sie hat auch den grössten Theil des Materials für die folgenden Untersuchungen geliefert. Besonders wenn man nach längerer Zeit die Standorte einzelner Formen kennen gelernt hat, ist es sehr leicht, sich letztere zu jeder Zeit zu verschaffen, falls ihr Auftreten nicht an ganz bestimmte Bedingungen gebunden ist. Etwas weniger ergiebig ist die Umgegend von Jena, die mir indessen auch eine Menge Material geboten hat. Es sind hauptsächlich die nur auf Sandboden lebenden Protisten, deren Beschaffung hier Schwierigkeiten bereitete.

Zur Untersuchung kamen folgende Formen, von denen hier nur solchen die Angabe des Standorts beigefügt worden ist, die entweder seltener zu finden sind, oder die so oft benutzt werden, dass man sie sich zu jeder Zeit leicht beschaffen können muss.

I. **Schizomyceten.**

Spirillum undula und andere Spirillen- und bewegliche Bacterienformen wurden stets von mir erhalten, indem ich Froscheingeweide in Jenenser Wasserleitungswasser faulen liess.

Spirochaete plicatilis erhielt ich aus einem Aufguss auf faulende Rohrwurzeln.

II. **Schizophyceen.**

Von Oscillarien kam zur Untersuchung eine Form, welche mir mit der von Zopf als Glaucothrix gracillima beschriebenen und abgebildeten identisch erschien. Sie war jederzeit in den Sümpfen des Saalthals beim Erlkönig an der Chaussee, welche von Jena nach Kunitz führt, zu haben.

III. **Diatomeen.**

Von Diatomeen wurden drei Gattungen verwendet, deren Arten mir jedoch nicht möglich war genauer zu bestimmen.

Navicula } beide von demselben Fundort wie
Stauroneïs } Glaucothrix.

Pinnularia aus den Gewässern der Muschelkalkbrüche von Rüdersdorf bei Berlin.

IV. **Desmidiaceen.**

Closterium sp.

V. **Rhizopoden.**

Lieberkühnia Wagneri. Dieses seltene, wie es scheint zu den Moneren gehörige Protist trat plötzlich in mindestens 20—30 Individuen auf in einem Uhrschälchen mit Wasser aus dem Tegeler See, welches im zoologischen Institut zu Berlin mehrere Tage in einer feuchten Kammer gestanden hatte.

Amoeba princeps.

Amoeba limax erhielt ich stets aus den Pfützen in den Kalkgruben von Winzerla bei Jena.

Amoeba radiosa.

Pelomyxa palustris war fast stets zu finden in einem der Tröge des kleinen botanischen Universitätsgartens in Berlin, woselbst das Protist in grosser Individuenzahl zwischen den Wurzeln von Calmus im Schlamme lebte.

Arcella vulgaris aus den Seen der Umgegend von Berlin.

Difflugia urceolata aus dem Halensee am Grunewald bei Berlin.

Difflugia pyriformis von demselben Standort.

Actinophrys sol aus den Kalkpfützen von Winzerla bei Jena.

Actinosphaerium Eichhornii ebendaher.

Polystomella crispa aus dem Golf von Neapel verdankte ich der grossen Freundlichkeit des Herrn Dr. B. Friedländer.

VI. **Flagellaten.**

Volvox globator war im Sommer stets in einem der Wassertröge des botanischen Universitätsgartens in Berlin.

Cryptomonas erosa aus dem Schlachtensee bei Berlin und den Kalktümpeln von Winzerla bei Jena.

VII. **Ciliaten.**

Lacrymaria olor aus dem Schlachtensee bei Berlin.

Coleps hirtus.

Loxophyllum fasciola.

Loxodes rostrum.

Opalina ranarum.

Paramaecium aurelia erhielt ich in grossen Mengen, indem ich Heu mit Teichwasser übergoss.

Nachdem der Aufguss in offenen Gefässen ca. 8—14 Tage gefault hatte, waren Paramaecien in solcher Individuenzahl darin, dass sie das Wasser milchig trübten.

Pleuronema chrysalis.

Colpoda cucullus.

Spirostomum teres, Umgegend von Jena.

Spirostomum ambiguum in sehr grossen bis 2,5 mm grossen Exemplaren zu jeder Zeit von demselben Standort wie Pelomyxa.

Stentor polymorphus.

Stentor Roeselii aus dem Teich des Prinzessinnengartens in Jena.

Stentor coeruleus.

Epistylis plicatilis Sümpfe am Finkenkrug bei Berlin.

Vorticella nebulifera.

Vorticella patellina.

Carchesium polypinum.

Zoothamnium arbuscula.

Halteria grandinella.

Mesodinium pulex nur einmal in grösserer Individuenzahl aus dem Tegelersee bei Berlin.

Euplotes charon.

Euplotes patella.

Stylonychia mytilus.

Stylonychia pustulata.

Uroleptus musculus.

Die speciellere Kenntniss dieser Formen muss natürlich hier vorausgesetzt werden, im übrigen geben die einschlägigen botanischen und zoologischen Werke Auskunft darüber.

Bei der Behandlung des Materials zum Zweck der längeren Erhaltung wurde mit Erfolg das Princip durchgeführt, dass nach dem Fang möglichst viele einzelne Culturen von verschiedenem Umfang angelegt wurden. Dieselben wurden theils in grösseren und kleineren Gläsern, theils in kleinen Glasdosen und Uhrschälchen, ja bei gewissen Formen sogar auf dem Objectträger eingerichtet. Es ist durchaus nicht schwierig, viele Formen in so kleinen Culturen sehr lange Zeit lebend zu erhalten, wenn man sie in feuchten Kammern aufbewahrt und nöthigenfalls mit kleinen Wasserpflanzen versorgt. Der Hinweis mag hier am Platze sein, dass sich nämlich manche Formen mit Vorliebe in

ganz kleinen Culturgefässen entwickeln und zu ungeheurer Individuenzahl vermehren. Man kann diese z. B. auf dem Objectträger in der feuchten Kammer viele Wochen hindurch jeder Zeit zur Untersuchung bereit halten und einzelne Individuen aus der Cultur zu Versuchen entnehmen.

Die Isolirung einzelner Individuen sehr kleiner Formen zur Anlage von möglichst reinen Culturen oder zu gewissen Versuchen erzielte ich schnell und leicht durch folgende Methode. Von dem Wasser, in dem sich die gewünschten Protisten befanden, wurde ein Tropfen mit denselben auf einem Objectträger unter das Mikroskop gebracht. Dann wurde mittels einer zu feiner Spitze ausgezogenen Glasröhre ein Individuum unter dem Mikroskop gefangen, indem die capillare Spitze der Röhre an der Stelle, wo das Protist sich im Tropfen befand, in das Wasser eingetaucht wurde. Durch die Capillarkraft wurde dabei ein in der Röhre aufsteigender Wasserstrom erzeugt, der das Protist mit sich in die Röhre hineinriss. Die Weite des capillaren Endes der Röhre ist dabei natürlich der Grösse der zu fangenden Protisten angemessen zu wählen. Man kann bei engen und lang ausgezogenen Glasröhren auch leicht mehrere Individuen hintereinander fangen, indem man immer wieder an einem andern Orte, wo sich ein Protist befindet, eintaucht. Schliesslich entleert man den Inhalt der Röhre auf einem Objectträger in einen aus der ursprünglichen Cultur abfiltrirten reinen Wassertropfen. Kommt es darauf an, dass die Cultur möglichst frei von anderen Organismen ist, so braucht man nur diese Isolirung und Uebertragung in neue filtrirte Wassertropfen oft genug zu wiederholen. Die Isolirung grösserer Formen macht natürlich gar keine Schwierigkeiten.

Die Bewegungen des unverletzten Protistenkörpers.

Wie oben bemerkt, ist die Bewegung der Gegenstand unserer Untersuchungen; es ist daher zunächst erforderlich, den Bewegungen der Protisten eine eingehendere Darstellung zu widmen. Die genauere Kenntniss der einzelnen Bewegungs*formen* muss dabei wieder vorausgesetzt werden, und es kann genügen,

wenn eine kurze Uebersicht derselben und ihres Vorkommens bei den einzelnen Protistenfamilien geboten wird.

Unter den Bewegungsformen, welche zur Locomotion dienen, können mehrere Gruppen unterschieden werden:

1. Die amoeboïde Form mit ihren verschiedenen Modificationen der Pseudopodienbildung. Vorkommen bei Rhizopoden und einigen Flagellaten.
2. Die Form der Wimperbewegung mit ihren Modificationen, hervorgegangen aus der amoeboïden Bewegung. Vorkommen bei Bacterien, Flagellaten, Ciliaten und in gewissen Entwicklungszuständen der Acineten.
3. Die secretorische Bewegungsform. Diese Form der Bewegung ist bisher wohl noch nicht den anderen als besondere Form gegenüber gestellt worden; indessen erscheint sie von allen übrigen so verschieden, dass sie mit Recht als eine selbstständige Form betrachtet zu werden verdient*). Vorkommen bei Desmidiaceen. Wahrscheinlich gehört hierher auch die Bewegung der Oscillarien und vielleicht die der Diatomeen, welche gewiss nicht als eine Protoplasmabewegung aufzufassen ist.

Ausser diesen direct zur Locomotion dienenden Bewegungsformen kommen noch einige Bewegungen innerhalb des protoplasmatischen Körpers vor, die unter Umständen Veränderungen der Körpergestalt und bisweilen auch unbedeutende Ortsveränderungen bewirken können:

1. Eine Bewegungsform, welche man als rheophorische Bewegung bezeichnen kann, da sie darauf beruht, dass durch feine Strömungen feste Theilchen in Bewegung gesetzt und fortgetragen werden. Hierher gehört die sogenannte *Molekularbewegung* oder *Brownsche Bewegung*, bei Protisten aus den meisten Familien vorkommend, ferner die *Protoplasmaströmung*, besonders bei den Plasmodien der Myxomyceten ausgeprägt, und endlich die *Körnchenströmung* in den Pseudopodien der reticulären Rhizopoden.
2. Contractionsbewegungen des ganzen Körpers, bei Rhizopoden, metabolischen Flagellaten und Ciliaten, oder einzelner Theile, z. B. der Myoide**), bei Ciliaten

*) Vergl. über diese Form: G. Klebs: „Ueber Bewegung und Schleimbildung der Desmidiaceen". In Biol. Centralbl. V.

**) Myoïde sollen die den aus Zellen zusammengesetzten Muskeln der Thiere entsprechenden contractilen Streifen heissen, welche als Differen-

und der contractilen Vacuolen bei Rhizopoden und Ciliaten.

So gering die Anzahl dieser Bewegungsformen ist, so erzeugen sie doch durch Combination untereinander und besonders durch ihre Abhängigkeit von der individuellen Organisation ihres Trägers eine ungeheure Mannigfaltigkeit in den Bewegungen der Protistenwelt und verleihen jeder Form, ebenso wie die morphologischen Merkmale, einen ganz specifischen Charakter.

Dem kritischen Beobachter, der sich nicht von vornherein verleiten lässt, in den Bewegungen der Protisten Aeusserungen ganz bestimmter psychischer Processe zu erblicken, bietet sich bald ein objectiver Gesichtspunkt, der eine Sonderung aller Bewegungen in zwei Gruppen gestattet. Die eine Gruppe umfasst die Bewegungen, die das Protist zeigt, ohne dass irgend eine äussere Veranlassung dazu vorhanden ist, kurz die spontanen Bewegungen, während die zweite Gruppe stets die unmittelbare Veranlassung in Form eines äusseren Reizes*) erkennen lässt. Man wird letztere daher zweckmässig als Reizbewegungen bezeichnen. Etwas anderes als dieses eine Merkmal, ob eine äussere Veranlassung fehlt oder vorhanden ist, soll den beiden Begriffen nicht zu Grunde liegen.

I. Die spontanen Körperbewegungen.

Zur Beobachtung der spontanen Körperbewegungen ist es zweckmässig, die Protisten nicht zwischen Objectträger und Deckglas unter das Mikroskop zu bringen, da sie hier unnatürlichen Bedingungen ausgesetzt sind, die ihre Bewegungen mitunter stark beeinflussen können; es empfiehlt sich vielmehr die Beobachtung in flachen, offenen Glasnäpfchen mit geradem Boden vorzunehmen. Alsdann wird man bemerken, dass manche Formen, die viele anscheinend spontane Bewegungen unter dem Deckglas oder im

zirungen des Protoplasmas einer einzigen Zelle auftreten, ebenso wie unter Organoiden die den zellig differenzirten Organen eines Thieres entsprechenden Protoplasmadifferenzirungen innerhalb einer Zelle verstanden werden sollen.

*) Unter Reiz verstehe ich jede Aenderung der äusseren Bedingungen, unter denen sich ein Organismus normaler Weise befindet. Der Reiz wird wirksam, wenn er die Reizschwelle für den betreffenden Organismus überschreitet, d. h. wenn die Aenderung eine gewisse für verschiedene Organismen verschiedene Grösse erreicht.

kleinen Tropfen unzählig oft in kurzer Zeit ausführen, im grösseren Gefäss die Zahl derselben auf ein Minimum beschränken, so dass man annehmen muss, dass ein grosser Theil der ersteren auf unmerkliche Reize zurückzuführen ist, die durch die abnormen Verhältnisse verursacht werden.

Es kann natürlich nicht die Aufgabe dieser Untersuchungen sein, die ungeheure Mannigfaltigkeit der spontanen Bewegungen zu beschreiben, vielmehr wird sich die Beschreibung auf einige der charakteristischsten beschränken, die am meisten den Anschein erwecken, als lägen ihnen höhere psychische Vorgänge zu Grunde. Wie überhaupt jede Bewegung eines Körpers, deren Ursache man nicht kennt, schon den Eindruck der Willkür, der Absichtlichkeit macht, so giebt es unter den spontanen Bewegungen der Protisten eine grosse Anzahl, welche einem naiven Beobachter namentlich bei flüchtiger oder nur einmaliger Beobachtung diese Ansicht förmlich aufdrängen. Leider ist es mitunter nicht leicht, von einer Bewegung zu entscheiden, ob sie wirklich spontan ist, oder ob ihre Veranlassung in einem nicht wahrnehmbaren Reize liegt, da die gleichen Bewegungen, welche spontan auftreten, häufig auch durch Reize hervorgerufen werden. Doch giebt es immerhin eine grosse Reihe, welche keinen Zweifel erwecken.

Die Schwimmbewegungen der Bacterien und besonders das ganz regellose Abwechseln in der Schwimmrichtung sind völlig spontan; ebenso die bekannten Bewegungen der Flagellaten, die wie Euglena, Astasia, Peranema etc. beim Schwimmen fortwährend mit ihrer Geissel umhertastend, gleichsam etwas suchend sich vorwärts bewegen. Interessant ist das Verhalten von Anisonema grande, das mit seiner hinteren Geissel gewissermassen verankert am Boden liegt und nur seine vordere Geissel schwingen lässt. Plötzlich zuckt ohne irgend welche äussere Veranlassung die hintere Geissel zusammen und ertheilt dadurch dem Protist einen Ruck, der es nach der entgegengesetzten Seite hinüberschleudert, wo es wiederum ruhig liegen bleibt und seine vordere Geissel in der vorigen Weise schwingen lässt, bis es ein neuer Ruck wieder nach der anderen Seite hinüberreisst (Fig. 1). Aehnliche Zuckbewegungen führt ebenfalls spontan das zu grösseren Colonien vereinigte Poteriodendron petiolatum in seinen zierlichen Kelchen aus, und zahlreiche Flagellaten bieten weitere Beispiele.

Auch das langsame, zitternde Gleiten der Diatomeen

bald in dieser, bald wieder ohne äussere Veranlassung in entgegeugesetzter Richtung ist eine durchaus spontane Bewegung. Ebenso erfolgt spontan das Kriechen der Rhizopoden, die wie z. B. die Amoeben bald hier, bald dort ein Pseudopodium hervorquellen lassen, um so Ortsveränderuugen auszuführen, oder die wie die Foraminiferen lange feine Protoplasmafäden aus ihrer Schale herausstrecken, um mit diesen an der Unterlage sich anheftend vorwärts zu kriechen.

Fig. 1.



Am mannigfaltigsten sind die spontanen Bewegungserscheinungen bei einer Protistenklasse ausgebildet, deren Vertreter sich durch besondere Lebhaftigkeit auszeichnen, nämlich bei den Ciliaten-Infusorien.

Beobachtet man z. B. ein Spirostomum ambiguum einige Zeit unter dem Mikroskop, so sieht man zunächst, dass sich dasselbe vermittelst seiner regelmässig schlagenden Wimpern gleichmässig durch das Wasser bewegt. Plötzlich aber, ohne dass man irgend eine Veranlassung zu bemerken vermag, fängt es an, sich in entgegengesetzter Richtung fortzubewegen, indem mit einem Male die Wimpern nach der entgegengesetzten Seite zu schlagen beginnen. Verfolgt man es noch länger, so sieht man wieder einen Umschlag in der Wimperrichtung, der ebenso wenig eine äussere Ursache erkennen lässt, und so fort in unregelmässigen Zwischenräumen. Auch besitzt das Protist die Fähigkeit, die Bewegung seiner Wimpern plötzlich zu verlangsamen oder zu beschleunigen, indem es sowohl die Geschwindigkeit als die Amplitude des Wimperschlages verändern kann. Man sieht das Protist dann in irgend einer Richtung bald langsamer bald schneller schwimmen. Diese Fähigkeit, plötzlich die Bewegung der Wimpern in die entgegengesetzte Richtung umschlagen zu lassen oder ihre Geschwindigkeit zu verändern, ist unter den Ciliaten ungemein verbreitet und lässt sich an grösseren Formen sehr leicht beobachten. Manche Formen, wie z. B. Paramaecium aurelia, führen nur von Zeit zu Zeit kurze einzelne Wimperschläge in entgegengesetzter Richtung aus, ohne eine längere Strecke rückwärts zu schwimmen.

Eine sehr starke Beschleunigung der Wimperbewegung, namentlich der adoralen Wimpern, kann zu einer besonders charakteristischen Form der Bewegung, der *Wirbelbewegung* führen. Die Protisten (insbesondere *Lacrymaria*, *Vorticella*, *Halteria* und viele hypotriche Ciliaten zeigen diese Form sehr schön) wirbeln meist mit Axendrehung, taumelnd durch das Wasser und legen in grosser Geschwindigkeit weite Strecken zurück. Ohne irgend welche sichtbare Veranlassung gehen sie häufig zu dieser Bewegungsform über, bis sie nach einiger Zeit wieder ihre normale Bewegung fortsetzen.

Eine andere spontane Bewegung, die ebenfalls eine grosse Verbreitung hat, ist gleichfalls an *Spirostomum* oder noch besser an festsitzenden *Stentoren* zu bemerken. Wenn man einen ausgestreckten *Stentor* eine Weile beobachtet, zuckt er plötzlich zu einer gestielten Kugel zusammen, die das Peristom eingezogen hat. Die Kugel streckt sich nach einiger Zeit langsam wieder und nimmt allmählig die normale Gestalt des *Stentor* an. Eine Veranlassung für das Zusammenzucken ist nicht zu sehen. *Dieses auf einer Contraction der Myoïde beruhende Zusammenzucken* des Körpers ist am schönsten und anmuthigsten ausgeprägt bei *Vorticella* und verwandten Gattungen, die, nachdem sie lange Zeit ruhig ausgestreckt waren und ihre Peristomwimpern hatten spielen lassen, plötzlich und unerwartet durch eine Contraction des Stielmyoïds an ihren Anheftungspunkt heranschnellen, wobei der Stiel selbst spiralig aufgerollt und das Peristom nach innen eingeschlagen wird. Kurze Zeit darauf tritt wieder Streckung ein, und der Peristomrand wird wieder nach aussen umgeschlagen. Diese Contractionen treten bisweilen in der That völlig spontan ein, und so sehr man sich selbst bei starken Vergrösserungen Mühe giebt, einen Reiz zu entdecken, ist es doch stets vergeblich.

Eine dem auf Contraction von Myoïden beruhenden Zusammenschnellen des Körpers analoge Bewegung der Wimpern ist *das Schnellen nnd Springen*, wozu manche Infusorien besonders differenzirte Sprungwimpern besitzen. Ein ausgezeichnetes Beispiel ist *Halteria grandinella*. Mit ihrer adoralen Wimperspirale vorwärts durch das Wasser schwimmend, springen diese Ciliaten plötzlich mit einer Schnellbowegung der äquatorial gestellten 3×7 Springborsten rückwärts, um sofort nach einer anderen Richtung wieder ruhig weiter zu schwimmen. Von Zeit zu Zeit wiederholt sich diese Sprungbewegung, aber in ganz

unregelmässigen Zwischenräumen*). Aehnliche Sprungbewegungen führt Pleuronema chrysalis aus, ein holotriches Ciliat, das ganz still an einer Stelle liegend nur seine undulirende Membran spielen lässt, bis es sich plötzlich durch einen kräftigen Ruck der starren Körperwimpern, dem unter Umständen noch eine Zahl weiterer Schläge folgen kann, durch das Wasser schnellt. Sehr verbreitet sind die Sprungwimpern bei der Familie der hypotrichen Ciliaten, welche in der Regel 5 starke Sprungcirrhen besitzen, deren jede aus einer Anzahl sehr feiner, von einander getrennter Primitivwimpern zusammengesetzt ist, also eigentlich als ein kleiner Wimperschopf zu bezeichnen wäre. Ein Euplotes, eine Stylonychia, eine Oxytricha etc. sieht man im Wasser stillstehen oder umherlaufen, bis plötzlich ein Schlag der Sprungcirrhen nach vorn den Körper eine kurze Strecke zurückschnellt, worauf das Protist wiederum stehen bleibt resp. weiterläuft.

Das ebenerwähnte Laufen der hypotrichen Ciliaten gehört gleichfalls zu den höchst charakteristischen spontanen Bewegungen der Ciliaten. Diese Protisten gebrauchen die an ihrer Unterseite stehenden Wimpern wie Beine, um mit ihnen auf dem Boden des Gefässes, auf dem Oberflächenhäutchen des Wassers oder auf fremden Gegenständen im Wasser umherzulaufen. Das Laufen hat, namentlich wenn man die Protisten

*) Obgleich schon Claparède und Lachmann beobachtet hatten, dass die Sprungwimpern bei Halteria in einem äquatorialen Ringe um den Körper angeordnet sind, ist doch die Abbildung, welche Bütschli neuerdings in seinem sonst so vortrefflichen Protozoenwerk aus Bronns „Klassen und Ordnnngen des Thierreichs" giebt, so mangelhaft, dass eine genauere Darstellung des betreffenden Verhältnisses wohl am Platze ist.

Um die Mitte des Protists sind in regelmässigen Abständen von einander 3×7 lange, gleichmässig dünne Wimpern in der Weise vertheilt, dass je 3 Wimpern immer in einer verticalen Ebene stehend von derselben Ursprungsstelle kommen, und zwar ist immer die vorderste ein wenig schräg nach vorn, die mittelste ziemlich gradeweg und die hinterste schräg nach hinten gerichtet, so dass je 3 Zusammengehörige immer unter einem Winkel von 30—40° von einander divergiren (Taf. I Fig. 1 u. 2). Diese Wimpern stehen beim ruhigen Schwimmen des Protists ganz starr, sie treten aber in Thätigkeit, sobald ein Sprung ausgeführt wird. Dann schnellen sie plötzlich nach vorn (Taf. I Fig. 3) und kehren sofort wieder in ihre ursprüngliche Lage zurück. Dadurch bekommt der Körper einen augenblicklichen Stoss und wird ähnlich wie ein Boot durch einen Ruderschlag rückwärts durch das Wasser getrieben, um sofort wieder nach vorn weiter zu schwimmen. Wenn das Protist sehr rasch vorwärts schwimmt, besonders bei der Wirbelbewegung, kommt es auch vor, dass die Sprungwimpern ganz nach rückwärts gebogen sind.

von der Seite laufen sieht, grosse Aehnlichkeit mit dem Laufen vieler Insecten, z. B. der Stubenfliegen. Die Wimpern bewegen sich dabei nicht etwa gleichmässig, sondern es wird, wie man besonders beim langsamen Gehen leicht bemerken kann, bald die eine, bald die andere Wimper ohne Regel vorgesetzt. Das Laufen ist nur ein beschleunigtes Gehen und kann sich bis zum förmlichen Rennen steigern, wobei die Bewegung der Wimpern immer noch denselben Charakter hat, wie beim langsamen Gehen.

Bei vielen hypotrichen Ciliaten, welche sich durch einen gewissen Grad von Metabolie auszeichnen, ist ferner eine eben durch die Metabolie ermöglichte spontane Bewegung verbreitet, die ungemein charakteristisch ist, nämlich das suchende Tasten mit dem vorderen Körperende. Formen wie Uroleptus, Urostyla und andere laufen geschäftig auf den Schlammtheilchen und Pflanzenstoffen etc. im Wasser umher, indem sie, ihr vorderes Körperende mit staunenswerther Beweglichkeit in einem fort hierhin und dorthin umbiegend und mit ihren Sprungwimpern alle Augenblicke zurückzuckend, gleichsam wie schnüffelnde Jagdhunde den Schlamm hastig abzusuchen scheinen. Auch bei manchen holotrichen und heterotrichen Ciliaten findet sich diese Bewegung, am allerausgeprägtesten bei Lacrymaria olor. Dieses interessante Protist, welches seinen Körper, besonders dessen vorderen Theil, den Hals mit der Mundöffnung, wie Gummi zu langem, dünnem Faden ausziehen und wieder zu kurzer gedrungener Flaschenform zusammenziehen kann, bewegt sich langsam, von Zeit zu Zeit mit dem dickeren hinteren Körperende auf der Stelle liegen bleibend, zwischen den Schlamm- und Pflanzentheilchen im Wasser umher, indem es nur seinen langen Hals umhersuchen lässt. Dabei tastet das vordere Ende in einem fort sich verlängernd, verkürzend und seitwärts umbiegend, rüsselartig mit grosser Schnelligkeit und Gewandtheit zwischen den Gegenständen im Wasser umher und nimmt gelegentlich auch ein Nahrungstheilchen in die vorn gelegene Mundöffnung auf. Zuweilen lässt das Protist seinen Körper ganz zusammenschnellen, um ihn jedoch sofort wieder auszustrecken und die Schlammtheile von neuem abzuweiden.

Es ist nicht nothwendig, die Aufführung der spontanen Körperbewegungen, deren es in allen Protistengruppen noch eine grosse Menge giebt, wie z. B. das Auf- und Niedersteigen der Radiolarien, das Pulsiren der contractilen Vacuolen, das Festsetzen der frei schwimmenden Stentoren und Vorticellen,

das Anheften von Urocentrum vermittelst äusserst feiner Schleimfäden etc., noch weiter auszudehnen, ebensowenig wie es Absicht war, die im Vorstehenden angeführten spontanen Bewegungen bis in die kleinsten Einzelheiten hinein zu beschreiben; es genügt vielmehr, einige der charakteristischsten vorgeführt zu haben, besonders da ja nichts leichter ist, als spontane Bewegungen bei Protisten zu beobachten. Jedem, der einmal lebende Protisten nntersucht hat, sind gerade die spontanen Bewegungen in grosser Zahl bekannt geworden. Es sei indessen noch bemerkt, dass es nicht ausgeschlossen ist, dass vielleicht später einmal die eine oder andere auch der oben angeführten spontanen Bewegungen als eine Reizbewegnng erkannt wird, deren Veranlassung übersehen worden ist, oder die vielleicht anf der Nachwirkung eines Reizes beruht, welcher vorher nicht bemerkt wurde; jedenfalls wird dadurch die Existenz wirklicher spontaner Bewegungen nicht in Frage gestellt.

Etwas eingehendere Beachtung verdient jedoch noch eine Thatsache, die zwar bei der Beobachtung einer einzelnen spontanen Bewegung nicht bemerkbar ist, die aber einem aufmerksamen Beobachter auffallen muss, wenn er einen Complex von Bewegungen betrachtet, die hinter einander an demselben Individuum ablaufen. Es ist dies die Thatsache, dass an allen Protistenkörpern nur eine ganz beschränkte Zahl, oft nur 2 verschiedene Bewegungserscheinnngen verlaufen, die immer in ihrer typischen Form, nie mit der geringsten Veränderung wiederkehren.

Beobachtet man z. B. ein Anisonema grande längere Zeit hindurch, so wird man finden, dass dieses Flagellat zunächst ruhig mit seiner hinteren Geissel verankert liegt, während nur die vordere regelmässige Schlagbewegungen im Wasser ausführt. Nachdem dieses Spiel einige Zeit gedauert hat, wird plötzlich das Protist in der oben beschriebenen Weise durch eine Contraction der hinteren Geissel nach der entgegengesetzten Seite hinübergeschleudert, wo es nun wieder das vorige Spiel beginnt. Diese beiden Bewegungserscheinungen wechseln in unregelmässigen Perioden in einem fort mit einander ab und werden nur durch eventnell von aussen einwirkende Reize unterbrochen, die ausser der Zurückschnellbewegung, wenn sie stark genug sind, gelegentlich auch eine weitere Locomotion herbeiführen können, welche durch die vordere Geissel ansgeführt wird, während die hintere wie ein Tau nachschleppt.

Ebenso deutlich tritt die genannte Thatsache bei Ciliaten hervor. Paramaecinm aurelia schwimmt z. B. mit dem vorderen Ende bald nach rechts, bald nach links schwankend gerade aus. Von Zeit zu Zeit aber sieht man plötzlich, wie schon bemerkt, auf einen Ruck der Körperwimpern die Bewegung momentan anhalten, resp. das Protist ein Stückchen zurückzucken, worauf unmittelbar die gewöhnliche Vorwärtsbewegung wieder aufgenommen wird. So findet ein immerwährender Wechsel dieser beiden Bewegungserscheinungen statt, wenn nicht das Protist durch Reize in seinem Treiben gestört wird.

Ueber eine etwas grössere Zahl von Bewegungen verfügt z. B. Lacrymaria olor. Während dieses Ciliat langsam durch den Schlag seiner Körperwimpern vorwärts schwimmt, tastet der lang ausgestreckte Hals, wie oben genauer beschrieben, in einem fort mit seinem Vorderende umher. Dabei zieht er sich alle Augenblicke zurück, streckt sich wieder lang aus u. s. f. Oefter zieht sich das ganze Protist zusammen, während die Wimperu des Körpers kürzere oder längere Zeit in entgegengesetzter Richtung schlagen, bis wieder die frühere Bewegung eintritt und so ein rastloses Wechseln zwischen diesen 4 Bewegungserscheinungen zu Stande kommt.

Aehnlich benimmt sich Loxophyllum fasciola, und noch complicirter sind die Bewegungen der hypotrichen Ciliaten zusammengesetzt. Doch genügen die angeführten Beispiele zur Erläuterung der Thatsache, dass die Protisten, selbst die höchst entwickelteu, nur über eine ganz beschränkte Anzahl von Bewegungserscheinungen verfügen, die sich in stets gleicher Form unregelmässig abwechselnd resp. gleichzeitig combinirt immer wieder nnaufhörlich am Körper abspielen, wobei ein wesentliches Moment die ungeheure Geschwindigkeit ist, mit der die meisten verlaufen.

II. Die Reizbewegungen.

Ausdruck und Definition ist deshalb so allgemein gewählt, weil vorläufig über die Art der psychischen Vorgänge dabei noch kein Urtheil abgegeben werden soll. Reizbewegungen sind im Protistenreich durch zahlreiche Beobachtnngen und Versuche besonders von Seiten der Pflanzenphysiologen in grosser Zahl bekannt geworden, und ich habe die Kenntniss derselben noch in vielen Punkten zu vervollstäudigen gesucht.

A. Bewegungen auf Lichtreize.

Die Wellenbewegung des Lichts äussert sich objectiv in zwei verschiedenen Wirkungen, indem sie einerseits chemische, andrerseits thermische Veränderungen erzeugt. Dem entsprechend unterscheiden wir auch subjectiv 2 differente Empfindungen, die Lichtempfindung und Wärmeempfindung, jede durch ihr specifisches Sinnesorgan vermittelt. Da beide Wirkungen nicht immer zusammen auftreten, sollen sie auch einzeln betrachtet werden, und zwar in diesem Abschnitt nur die chemischen Wirkungen der Lichtwellen.

Leider giebt es eine exacte Scala der Lichtintensitäten nicht, es sind daher, soweit eigene Untersuchungen in Betracht kommen, folgende Bezeichnungen für die Abstufung der Lichtintensität von völliger Dunkelheit bis zu intensivem Sonnenlicht in Anwendung gekommen.

1. Völlige Dunkelheit.
2. Halbdunkel (Helligkeitsgrad, bei dem gewöhnliche Schreibschrift noch eben gelesen werden kann).
3. Diffuses Tageslicht (Licht, das, während die Sonne scheint, durch ein nicht von der Sonne getroffenes Fenster einfällt).
4. Directes Sonnenlicht (Sonnenlicht bei unbewölktem Himmel).
5. Concentrirtes Sonnenlicht (Sonnenlicht, das von einem concaven Spiegel reflectirt ist).

Dass das Licht einen Einfluss auf die Bewegungen der Protisten ausübt, war schon den älteren Beobachtern bekannt, und von PRIESTLEY bis EHRENBERG haben eine grosse Reihe Forscher Angaben darüber gemacht, ohne jedoch irgend welche gesetzmässigen Wirkungen gefunden zu haben. EHRENBERG [22]) sagt: „Es scheint, dass man im Urtheil specieller verfahren müsse.“ „Dass die grünen das Licht flöhen, ist auch nicht constant. Gewöhnlicher sogar ist, meiner Erfahrung an Euglenen und Chlamydomonas nach, wie ich es soeben wieder vor mir habe, dass sie an der Lichtseite der Gläser die Wand bedecken.“ Die nächste Zeit brachte eine Reihe von speciellen Beobachtungen über das Verhalten verschiedener Protisten zum Licht, aber erst die exacten und ausführlichen Untersuchungen

[22]) Ehrenberg: „Die Infusionsthiere als vollkommene Organismen“. Leipzig 1838.

von STRASBURGER [23]) über die Schwärmsporen wurden durch ihre methodische Durchführung grundlegend für alle folgenden Untersuchungen auf diesem Gebiet. Die neueren Arbeiten ergaben im allgemeinen nur die weite Verbreitung der von STRASBURGER an Schwärmsporen aufgefundenen Erscheinungen bei verschiedenen Protistenklassen. So fand ENGELMANN [24]) Lichtwirkungen bei Bacterien, später bei Diatomeen, Flagellaten und gewissen Ciliaten und ferner bei Pelomyxa, STAHL [25]) untersuchte den Einfluss des Lichts bei Desmidiaceen und bei Myxomyceten, KLEBS [26]) ebenfalls bei Desmidiaceen, wozu Nachträge von ADERHOLD [27]) geliefert wurden, und endlich beobachtete WINOGRADSKY [28]) Lichtwirkung bei Schwefelbacterien.

Für eine Beurtheilung der Frage nach dem Seelenleben der Protisten muss es natürlich vom grössten Werth sein, eine genauere Kenntniss dieser Erscheinungen bei den verschiedenen Protistenklassen zu besitzen.

1. Bacterien.

Im Jahre 1881 berichtete ENGELMANN [29]) über eine von ihm entdeckte Bacterienform, Bacterium chlorinnm, die sich, im Tropfen auf den Objectträger gebracht, in ungemein kurzer Zeit (weniger als $^1/_2$ Minute) stets an einer partiell beleuchteten Stelle desselben in grossen Schaaren ansammelte. Bei

[23]) Strasburger: „Wirkung des Lichts nnd der Wärme auf Schwärmsporen". In Jenaische Zeitschr. f. Natnrw. Bd. 12.

[24]) Engelmann: „Ueber die Reizung contractilen Protoplasmas durch plötzliche Beleuchtung". In Pflügers Arch. f. d. ges. Physiologie Bd. 19.

„Zur Biologie der Schizomyceten". In Pflügers Arch. Bd. 26.

„Ueber Licht- und Farbenperception niederster Organismen". In Pflügers Arch. Bd. 29.

„Bacterinm photometricum. Ein Beitrag zur vergleichenden Physiologie des Licht- und Farbensinnes". In Pflügers Arch. Bd. 30.

[25]) E. Stahl: „Ueber den Einfluss von Richtung und Stärke der Beleuchtnng auf einige Bewegungserscheinnngen im Pflanzenreich". In Bot. Zeitnng 1880.

[26]) Klebs: „Ueber die Bewegung nnd Schleimbildung der Desmidiaceen". In Biol. Centralblatt Bd. V No. 12.

[27]) Aderhold: „Beitrag zur Kenntniss richtender Kräfte bei der Bewegung niederer Organismen". In Jenaische Zeitsch. f. Nat. 1888.

[28]) Winogradsky: „Ueber Schwefelbacterien". In Bot. Zeitung 1887.

[29]) Engelmann: „Zur Biologie der Schizomyceten". In Pflügers Arch. Bd. 26.

dieser Bacterienform gelang es ENGELMANN zugleich, die Ursache der Ansammlung zu erkennen, und zwar in der Sauerstoffentwicklung derselben im Licht. Die Bacterien, welche ziemlich sauerstoffbedürftig sind, erzeugen sich also dieses Gas selbst und sammeln sich da an, wo die Entwicklung am reichlichsten ist, d. h. im Licht, eine Beobachtung, die um so interessanter ist, als sie zugleich eine der Wirkungsweisen des Lichts erkennen lässt.

Derselbe Beobachter[30]) entdeckte kurze Zeit darauf ein anderes Bacterium, das er wegen seiner auffallenden Reaction auf Lichtreize, die zu einer Reihe sehr interessanter Versuche Anlass gab, Bacterium photometricum nannte. Wie Bacterium chlorinum sammelt sich auch dieses interessante Protist an der beleuchteten Stelle des Tropfens an, die förmlich wie eine Falle wirkt. Bleiben die Bacterien dem Dunkel ausgesetzt, so stellen sie in kürzerer oder längerer Zeit je nach der Dauer und Intensität der vorherigen Lichteinwirkung ihre Bewegungen vollständig ein („Dunkelstarre") und können nur durch neue Lichteinwirkung veranlasst werden, dieselben wieder aufzunehmen. Die Bewegung ist also Function der Lichteinwirkung: „ohne Licht keine Bewegung". Eine sehr interessante Erscheinung bei diesen Bacterien ist ferner die von ENGELMANN beobachtete „Schreckbewegung". Bei plötzlichen negativen Intensitätsschwankungen, die leicht durch Verdunklung des Spiegels am Mikroskop erzielt werden können, schiessen im Augenblick der Verdunkelung alle Bacterien plötzlich eine Strecke weit zurück, meist unter lebhafter Rotation um die Körperaxe, um dann nach einem Moment des Stillstandes wieder ruhig vorwärts zu schwimmen. Bei allmähliger Herabsetzung der Lichtintensität, sowie bei allen positiven Helligkeitsschwankungen bleibt eine solche Reaction aus. ENGELMANN erklärt hieraus, weshalb das Licht wie eine Falle wirkt, nämlich deshalb, weil die Bacterien, sowie sie an die Dunkelgrenze kommen, ihre Rückprallreaction ausführen, während einem Ueberschreiten der Grenze in umgekehrter Richtung nichts im Wege steht. Endlich wurde noch untersucht, welche Wellenlängen die hauptsächlich wirksamen bei der Einwirkung des Lichts sind, und es ergab sich,

[30]) Engelmann: „Bacterium photometricum. Ein Beitrag zur vergleichenden Physiologie des Licht- und Farbensinns". In Pflügers Arch. Bd. 30.

dass sich die Bacterien an zwei Stellen des Spectrums besonders stark ansammelten, 1) zwischen den Fraunhoferschen Linien C und D, und 2) in noch stärkerem Maasse im Ultraroth. Die übrigen Theile des Spectrums werden entweder nur spärlich bedeckt oder ganz verlassen. Es zeigt sich also, dass die Bewegung des Bacterium photometricnm von zwei Factoren der Beleuchtung abhängig ist, von der Intensität und von der Wellenlänge.

Eine dritte Bacterienform, die Schwefelbacterien (Beggiatoa) wurden neuerdings von WINOGRADSKY[31]) als lichtempfindlich erkannt. Die Fäden sind in der Regel negativ phototaktisch, d. h. sie fliehen die dem Lichte zugekehrte Seite des Culturgefässcs. Indessen fand WINOGRADSKY, dass die Bacterien nicht immer in gleichem Grade auf Licht reagiren und sogar manchmal überhaupt keine Reaction auf Licht bemerken lassen. Die Ursachen dieses verschiedenen Verhaltens sind hisher noch nicht bekannt geworden.

Diese drei Formen, Bacterium chlorinum, B. photometricum und Beggiatoa dürften wohl die einzigen bisher als lichtempfindlich erkannten Bacterien sein, und es scheint, dass überhaupt die Fähigkeit auf Lichtreize zu reagiren wenig verbreitet unter den Schizomyceten ist, denn auch mir gelang es nicht bei einer Anzahl von Formen, die daranfhin nntersucht wurden, eine lichtempfindliche zu entdecken.

Uebrigens möchte ich hier auf eine Erscheinnng aufmerksam machen, die geeignet ist, dem Beobachter sehr leicht Lichtempfindlichkeit vorzutänschen. Ein Tropfen eines Aufgusses, welcher fast nur Spirillum undula, dieses aber in grosser Menge enthielt, wurde unter Deckglas auf den Objectträger gebracht. Die Spirillen schwammen anfangs wild durcheinander, sammelten sich aber in einiger Zeit (ca. $^1/_2$ Stunde) unweit der Deckglasränder zu einem dichten gleichmässigen Wall an, der auch mit freiem Auge als feine trübweisse, parallel den Deckglasrändern hinlaufende Linie bemerkt werden konnte. Hier lagen alle bewegungslos fest. Wurde nun eine einzelne Stelle dieses dichten Walls concentrirtem Sonnenlicht ausgesetzt, welches durch das Diaphragma des Mikroskops eintrat, so fingen die Spirillen, die vorher ganz still gelegen hatten, alsbald an sich zu bewegen, zu schlängeln und von der beleuchteten Stelle

[31]) Winogradsky: „Ueber Schwefelbacterien". In Bot. Zeitung 1887.

fortzuschwimmen. Schliesslich war die beleuchtete Stelle fast ganz von Spirillen entblösst. Anfangs glaubte ich in dieser Erscheinung eine Lichtwirkung gefunden zu haben, bis ich bald darauf bemerkte, dass auch kleine leblose Körper in gleicher Weise von der beleuchteten Stelle wegschwammen, und dass sogar bisweilen eine deutliche Strömung sichtbar wurde, die auch unbewegliche Spirillen in derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit forttrug. Die scheinbare Lichtempfindlichkeit ist daher eine rein passive Bewegung der Spirillen, verursacht durch Strömungen des Wassers, welche die Wärme der Lichtstrahlen erzeugt. In der That zeigte sich nach Ausschaltung der Wärme durch eine zwischen Objecttisch und Spiegel eingeschobene Eisschicht auch keine Spur von Bewegung. Die Erscheinung ist also dieselbe, welche SACHS [32]) in seinem Experiment an den Oeltropfen einer Emulsion hervorrief. Er setzte einen flachen Teller mit einer Oelemulsion von bestimmter Zusammensetzung, der zur Hälfte von einem Brett beschattet war, dem directen Sonnenlicht aus und fand, dass sich dann in kurzer Zeit das Oel aus dem beleuchteten Theil des Tellers zurückzog, um sich unter dem Brett im Schatten zu bestimmten Gruppen anzusammeln.

2. Rhizopoden.

Ebenso wenig wie unter den Schizomyceten scheint die Reactionsfähigkeit auf Lichtreize bei den Rhizopoden verbreitet zu sein, denn bisher sind nur zwei Formen bekannt geworden, bei denen eine solche beobachtet wurde.

Schon 1867 bemerkte HOFMEISTER [33]), dass junge Stadien von Aethalium septicum bei schwacher Beleuchtung oder im Dunkeln an die Oberfläche der Gerberlohe krochen, bei stärkerer Beleuchtung dagegen sich in dieselbe zurückzogen, eine Beobachtung, die von BARANETZKI [34]) und STAHL [35]) bestätigt wurde, welche ebenfalls die Plasmodien dieses Myxomyceten sich bei einseitiger Beleuchtung von der Lichtquelle zurückziehen sahen.

---

[32]) Sachs: „Ueber Emulsionsfiguren und Gruppirung der Schwärmsporen im Wasser". In Flora 1876 No. 17.

[33]) Hofmeister: „Die Lehre von der Pflanzenzelle". Leipzig 1867.

[34]) Baranetzki, In Mem. de la société d. sciences naturelles de Cherbourg 1876.

[35]) E. Stahl: „Zur Biologie der Myxomyceten". In Bot. Zeitung 1884 No. 10—12.

Ferner fand SOROKIN[36]), dass an den Plasmodien von Dictydium ambiguum die Protoplasmaströmung im Dunkeln allmählig aufhörte, während sie im Lichte nach einiger Zeit wieder eintrat. Dieser Beobachtung, die ein von dem des Aetbalium septicum abweichendes Verhalten andeutet, entsprach es auch, dass die Protoplasmaströmung in der Nacht gänzlich sistirt wurde. Als besonders wirksam für die Anregung der Protoplasmaströmung erkannte SOROKIN die stärker brechbaren Lichtstrahlen.

Den Beobachtungen an Myxomyceten reiht sich nur noch eine Beobachtung ENGELMANNS[37]) an. Derselbe machte nämlich im Jahre 1879 an Pelomyxa palustris die Beobachtung, dass dieser birnenförmige, im Dunkeln langsam mit breitem Pseudopodium vorwärts kriechende Protoplasmaklumpen sich bei plötzlicher Beleuchtung kuglig zusammenzog und, indem er seine Körnchenströmung einstellte, still liegen blieb. Wurde das Object wieder verdunkelt, so trat auch wieder Vorwärtskriechen mit Protoplasmaströmung ein. Bei langsamer Steigerung der Beleuchtungsintensität hatte das Licht dagegen keinen deutlichen Einfluss.

Von den Radiolarien wies BRANDT[38]) durch verschiedene Beobachtungen und Versuche nach, dass ihnen nicht die geringste Lichtreactionsfähigkeit zukommt.

Unter den Foraminiferen habe ich bei Polystomella crispa im diffusen Tageslicht ein sehr langsames Wandern nach der Lichtquelle bemerkt, so dass die Protisten in einem flachen Gefäss von ca. 8 cm Durchmesser nach 4—8 Tagen an der Lichtseite angesammelt waren. Leider habe ich bisher noch nicht sicher feststellen können, ob hierin eine directe Lichtwirkung erblickt werden darf.

Da ausser den ebengenannten Angaben weiter keine Untersuchungen über Lichtwirkung an Rhizopoden vorlagen, so prüfte ich noch einige andere Formen auf ihr Verhalten nach dieser Richtung. Die Protisten wurden auf dem Objecttisch nach Ausschaltung der Wärmewirkung des Lichts durch eine eingeschobene Eisschicht dem durchfallenden Lichte resp. den Far-

[36]) Sorokin: „Grundzüge der Mycologie". 1877.

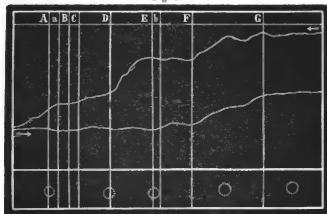
[37]) Engelmann: „Ueber Reizung contractilen Protoplasmas durch plötzliche Beleuchtung. In Pflügers Arch. Bd. 19. 1879.

[38]) C. Brandt: „Die coloniebildenden Radiolarien des Golfes von Neapel und der umliegenden Meeresabschnitte". Berlin 1885.

ben des ENGELMANNSCHEN Mikrospectral-Apparates ausgesetzt, und zwar wurde bei verschiedenen Lichtintensitäten entweder der ganze Körper oder nur ein Theil desselben beleuchtet. Alle störenden Einflüsse waren dabei möglichst ausgeschaltet, das seitlich einfallende Licht durch einen über den Objecttisch gestülpten schwarzen Pappkasten, die Schwerkraft durch genaue Horizontalstellung des Mikroskops auf einem Tischchen mit drei Schraubenfüssen und endlich die Wirkung des Tropfenrandes durch Benutzung eines sehr breiten Tropfens.

Die Resultate dieser Versuche waren an allen untersuchten Formen (Actinosphaerium Eichhornii, Actinophrys sol, Amoeba limax und Amoeba princeps) negativ. Weder eine Gestaltveränderung des Körpers dieser Protisten war bei Beleuchtung oder Verdunkelung bemerkbar, noch eine Beeinflussung der Bewegung und ihrer Richtung. Amoeben (Fig. 2),

Fig. 2.



In dem vorliegenden Spectrum deuten die mit dem Pfeil bezeichneten Linien die Kriechrichtung einer Amoeba limax an. Der Anfangspunkt ist rechts oben. Nachdem die Amoebe das ganze Spectrum durchkrochen hatte, wurde der Objecttisch ohne das Spectrum um 190° gedreht, so dass die Amoebe nun im weiteren Verfolg ihrer Kriechrichtung das Spectrum in entgegengesetzter Richtung durchkroch, wie die zweite Linie zeigt.

Die punktirten Kreise auf der unteren Seite der Figur bezeichnen die Grenzen, innerhalb welcher sich Amoeben ohne bestimmte Kriechrichtung bewegten, welche nach einander an 5 verschiedene Punkte des Spectrums gesetzt worden waren. Der ganze Versuch wurde bei directem Sonnenlicht ausgeführt.

die eine bestimmte Kriechrichtung inne hatten, krochen sowohl vom kurzwelligen Theil des Spectrums nach dem langwelligen, als auch nach Drehung des Objecttisches um 180° ohne irgend welche Störung in entgegengesetztem Sinne, selbst bei Anwendung concentrirten Sonnenlichts. Mir erscheint indessen auch dieses negative Ergebniss für den Zweck dieser Untersuchungen sehr bemerkenswerth, besonders in Bezug auf die später noch weiter zu berührende Frage, ob Lichtreactionsfähigkeit eine Eigenschaft jedes Protoplasmas sei.

3. Flagellaten.

Die Flagellaten, denen hier auch die ihnen morphologisch gleichwerthigen Schwärmsporen von Algen und Pilzen eingereiht werden mögen, sind eine von denjenigen Protistengruppen, bei welchen die Fähigkeit anf Lichtreize zu reagiren am weitesten verbreitet und zugleich am genausten untersucht ist. Schon seit dem Anfange dieses Jahrhunderts sind zahlreiche Mittheilungen über den Einfluss des Lichts auf die Bewegungen der Flagellaten gemacht worden. Dennoch blieb es meist bei einzelnen Beobachtungen ohne Zusammenhang, bis STRASBURGER[39]) 1878 genaue methodische Untersuchungen über die Wirkung des Lichts auf Geisselschwärmer anstellte und dabei gewisse Gesetzmässigkeiten in ihrem Verhalten entdeckte.

Die von STRASBURGER untersuchten Formen waren: Schwärmer von Botrydium granulatum, Ulothrix, Scytosiphon lomentarium, Chaetomorpha aerea, Ulva, Haematococcus lacustris, Oedogoninm und Vaucheria, sowie Schwärmer von Chytridium vorax und Saprolegnien und endlich die Flagellaten Chilomonas curvata und Ch. Paramaecium. STRASBURGER machte seine Versuche theils im hängenden Tropfen, den er durch eine kleine feuchte Kammer vor dem Verdunsten schützte, theils in grösseren Glas- und Porcellangefässen, die mit Brettchen theilweise überdeckt waren. Der dem Lichteinfall zugekehrte Rand des Tropfens wird von ihm als positiver, der entgegengesetzte als negativer bezeichnet.

Wurde der Tropfen aus dem Dunkeln ans Fenster gebracht,

---

39) Strasburger: „Wirkung des Lichts und der Wärme auf Schwärmsporen". In Jenaische Zeitschr. f. Naturw. Bd. 12, 1878.

so eilten die Botrydium-Schwärmer und Chilomonas selbst bei directem Sonnenlicht dem positiven Tropfenrande zu und sammelten sich hier an. Die Schwärmer von Ulothrix, Scytosiphon, Chaetomorpha und Ulva dagegen eilten nicht alle dem positiven, sondern zum Theil auch dem negativen Tropfenrande zu, und bildeten so zwei Ansammlungen an beiden entgegengesetzten Rändern, zwischen denen einzelne Schwärmer hin und her schwammen, sowohl vom positiven zum negativen Rande als auch in umgekehrter Richtung. Während die genannten Schwärmer in geraden und parallelen Bahnen häufig mit grosser Geschwindigkeit der Lichtquelle zu oder von ihr forteilen, beschreiben die Schwärmer von Haematococcus lacustris und Chytridium vorax krumme Bahnen, häufig mit Schleifen, wobei sie sich jedoch schliesslich am positiven oder negativen Lichtrande ansammeln. Oedogoniumschwärmer fand STRASBURGER nur wenig, Vancheria- und Saprolegnienschwärmer gar nicht vom Lichte in ihren Bewegungen beeinflusst. Durch Nähern resp. Entfernen des Präparats von der Lichtquelle konnte STRASBURGER die Schwärmer veranlassen, vom positiven zum negativen Rande zu schwimmen und umgekehrt, so dass sich bei gewisser Intensität von manchen Formen alle Individuen am negativen, resp. alle am positiven Rande angesammelt hatten, mit Ausnahme einzelner indifferenter Individuen, die sich in jedem Präparat vorfinden.

Die Schwärmer zeigten sich also auf eine gewisse Lichtintensität „gestimmt“, indem sie bei höherer Intensität „photophob“, bei niedrigerer „photophil“ sind, je nach der charakteristischen Lichtstimmung der einzelnen Form. Botrydium und Chilomonas waren immer photophil. Uebrigens fand STRASBURGER auch die interessante Erscheinung, dass die Lichtstimmung sowohl von der Entwicklungsstufe abhängt als auch von dem Standorte, von dem sie entnommen sind, in der Weise, dass Schwärmer von einem sehr hellen Standorte meist für höhere Intensität gestimmt sind als solche der gleichen Art von dunkleren Orten. Ferner ist die Stimmung individuell verschieden, eine Thatsache, die sich darin äussert, dass bei manchen Formen häufig ein Theil den positiven, der andere den negativen Tropfenrand aufsucht und einzelne sogar ganz indifferent mitten im Tropfen umherschwimmen.

Eine Nachwirkung zeigte sich bei Ulothrix und Haematococcus, indem dieselben, wenn sie längere Zeit beschattet

waren, bei Belichtung nicht sofort, sondern erst nach einiger Zeit (Haematococcus erst nach $^1/_2$ Min.) zu fliehen beginnen. Auch die umgekehrte Nachwirkung wurde beobachtet.

Die Erscheinung, dass die Schwärmer sich mit ihrer Längsaxe in der Richtung der einfallenden Lichtstrahlen einstellen und sich in dieser Richtung bewegen, nennt STRASBURGER „Phototaxis“.

Schliesslich stellte STRASBURGER noch eine Reihe von Versuchen an, um die Frage zu entscheiden, welche Strahlen des Sonnenlichts besonders die Bewegungen der Schwärmer beeinflussen. Schon COHN hatte gefunden, dass besonders die stärker brechbaren Strahlen die Wirkung auf die Schwärmer hervorrufen, während die schwächer brechbaren wie Dunkelheit wirken. STRASBURGER konnte dies vollkommen bestätigen. Um die Wirkung verschiedener Strahlen zu untersuchen, bediente er sich für die kurzwelligen Strahlen violetten Manganglases, einer Kupferoxydammoniaklösung und eines Kupferoxydglases, für die langwelligen einer Kalibichromatlösung, einer Natriumflamme und eines Rubinglases. Hiermit konnte er das Maximum der Lichtwirkung noch diesseits der Fraunhoferschen Linie G feststellen. In den langwelligen Strahlen machte sich nur bei sehr intensiver Beleuchtung eine zitternde Bewegung der Haematococcus-Schwärmer bemerkbar.

Die vorstehenden Untersuchungen STRASBURGERS bilden die Grundlage für alle weiteren Arbeiten über Lichtwirkung auf Protisten.

An Euglena viridis machte ENGELMANN [40]) die Beobachtung, dass sie sich auf dem Objectträger bei partieller Beleuchtung des Tropfens allmählig in der Lichtsphäre ansammeln, die sie dann nicht wieder verlassen. Im Mikrospectrum fand er die grösste Anhäufung in der Nähe der Fraunhoferschen Linie F. Auch bei Euglena beobachtete ENGELMANN eine sehr verschiedene Lichtstimmung, je nach der Lokalität, von der sie entnommen waren.

Wichtig ist bei Euglena die Beobachtung STAHLS [41]), dass

---

[40]) Engelmann: „Ueber Licht- und Farbenperception niederster Organismen“. In Pflügers Arch. Bd. 29.

[41]) E. Stahl: „Ueber den Einfluss von Richtung und Stärke der Beleuchtung auf einige Bewegungserscheinungen im Pflanzenreich“. In Bot. Zeitung 1880.

auch festliegende, nicht hewegliche Exemplare sich mit ihrer Längsaxe nach dem Lichteinfall richten, indem sie das helle Vorderende bei mässiger Beleuchtung dem einfallenden Lichte entgegen, bei intensivem Lichte von demselben fort richten. STAHL schliesst daraus, dass es sich bei dem Schwimmen nach der Lichtquelle hin oder von ihr fort „blos nm Richtungsverhältnisse handelt, welche von der rotirenden, vorwärts schreitenden Bewegung unabhängig sind.“

Ausser den genannten Flagellaten und Schwärmsporen sind noch eine Reihe anderer gefunden worden, die vom Lichte heeinflusst werden, so Chlamydomonas, Chlamydococcus, Dinoflagellaten etc., deren Zahl sich durch eifriges Suchen noch leicht vermehren liesse. Hauptsächlich sind es die grünen Formen, welche auf Licht reagiren, diese aher möglicher Weise alle, während von farhlosen nur sehr wenige his jetzt bekannt geworden sind, wie Chilomonas curvata, Ch. Paramaecium und Chytridium vorax.

Eine Form jedoch hietet noch hesonderes Interesse, weil sie als Colonie von grosser Individuenzahl dieselhen Erscheinungen zeigt, welche STRASBURGER an Einzelschwärmern nachgewiesen hat, nämlich Volvox globator. Es liegt hierüher schon eine Mittheilung von CIENKOWSKI[42]) vor, welcher beohachtete, dass die jungen Volvox globator sich an der dunkeln Seite des Gefässes ansammeln, die in den unheweglichen Zustand ühergehenden dagegen im Lichte. Ich hahe selhst Volvox glohator, leider allerdings keine jungen Colonieen zur Beohachtung hekommen und möchte nach den Versuchen, welche ich damit gemacht habe, die Angahe CIENKOWSKIS noch etwas präcisiren. Meine Coloniecn verhielten sich alle gleich. Bei diffusem Tageslicht ans Fenster gestellt, sammelten sich alle ohne Ausnahme an der positiven Lichtseite an, ohne sich derselben jedoch in vollkommen geraden Bahnen zuzuwenden. Wurde das Glas aher dem directen Sonnenlicht ausgesetzt, so zogen sie sich allmählig in derselhen Weise von der positiven Lichtseite znrück und sammelten sich ehenfalls ausnahmslos an der negativen Seite an. Wenn die Ansammlung an positiver oder negativer Seite des Glases eingetreten war, und dann das Glas um 180° gedreht wurde, so dauerte es nur kurze Zeit, his sie sich vom Rande wieder entfernten, nm sich von neuem an der ihnen zusagenden

[42]) Cienkowski: „Ueber niedere Algen und Infusorien“. 1856 (russisch).

Seite anzusammeln. Leider hatte ich, als Volvox zur Untersuchung kam, nicht Gelegenheit zu ermitteln, ob auch hier die kurzwelligen Strahlen die wirksamen sind, was allerdings im höchsten Maasse wahrscheinlich ist.

4. Diatomeen.

Die erste Angabe, welche ich über Lichtwirkung bei Diatomeen habe finden können, machte STAHL[43]) 1880. Er beobachtete, dass Navicula auf einer Glasplatte ausgebreitet bei mässiger Beleuchtung nach der Lichtseite kriecht, ohne sich jedoch mit seiner Längsaxe nach der Einfallsrichtung der Sonnenstrahlen einzustellen. Bei intensiverem Licht entfernen sie sich von der Lichtquelle.

ENGELMANN[44]) fand ferner, dass Navicula bei Sauerstoff-Abschluss in der Dunkelheit seine Bewegungen einstellt, dagegen wieder aufnimmt, wenn es dem Lichte ausgesetzt wird, was er auf das Sauerstoff-Bedürfniss der Diatomeen zurückführt, die auch bei Sauerstoff-Abschluss sich im Lichte selbst so viel Sauerstoff produciren können, als zu ihren Bewegungen nöthig ist. Das Maximum der Lichtwirkung beobachtete er dabei im Roth zwischen den Fraunhoferschen Linien B und C.

Diese Kenntniss vom Einfluss des Lichts auf die Bewegungen der Diatomeen habe ich selbst noch durch eine Reihe von Versuchen zu erweitern gesucht, und zwar an zwei Formen, deren eine Navicula brevis, die andere eine nicht näher zu bestimmende Stauroneïs war. Die Methode der Versuche war folgende: Ein Tropfen des diatomeenhaltigen Wassers wurde auf eine Glasplatte gebracht und in die Mitte derselben ein mit Diatomeen dicht besetztes Schlammstückchen gesetzt. Nachdem der Tropfen vor dem Verdunsten durch ein übergestülptes Glasnäpfchen geschützt war, wurde die ganze Glasplatte in ein mit schwarzem Papier ausgeklebtes Pappkästchen gesetzt, welches nur an der einen Seite einen ca. 15—20 □mm grossen Ausschnitt hatte, durch den das Licht eintreten konnte. Das ganze Kästchen wurde dann dem Lichte ausgesetzt. Auch im hängenden Tropfen wurde ein Theil der Versuche in derselben

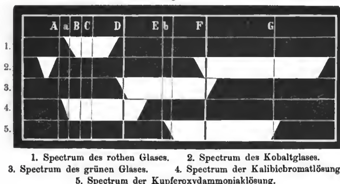
---

[43]) Stahl: „Ueber den Einfluss von Richtung und Stärke der Beleuchtung auf einige Bewegungserscheinungen im Pflanzenreich". In Bot. Zeitung 1880.

[44]) Engelmann: „Ueber Licht- und Farbenperception niederster Organismen". In Pflügers Arch. 29.

Weise angestellt. Um zu ermitteln, welche Lichtstrahlen die wirksamen sind, wurden nun verschiedene Medien so vor die Oeffnung des Kästchens gebracht, dass nur Lichtstrahlen von der beabsichtigten Farbe eintreten konnten. Als Farbenmedien wurden verwandt: flache Flaschen mit Kupferoxydammoniaklösung von bestimmter Concentration, ferner ebensolche mit Kalibichromatlösung, dann ein grünes Glas, ein rothes Glas und endlich ein Kobaltglas. Alle Medien waren vorher erst genau spectroskopisch untersucht worden und hatten folgende Spectra ergeben. (Fig. 3.)

Fig. 3.



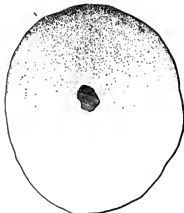
1. Spectrum des rothen Glases. 2. Spectrum des Kobaltglases. 3. Spectrum des grünen Glases. 4. Spectrum der Kalibichromatlösung. 5. Spectrum der Kupferoxydammoniaklösung.

Mit Hülfe dieser Medien konnte die Wirkung verschiedenfarbigen Lichts in ausreichender Genauigkeit bestimmt werden. Die Einwirkung der Lichtstrahlen dauerte gewöhnlich mehrere Stunden, bisweilen auch 1—2 Tage, und die Intensität der Strahlen wurde dadurch abgestuft, dass entweder bei verschiedener Beleuchtung und zu verschiedenen Tageszeiten experimentirt, oder die Präparate dem Fenster näher oder ferner aufgestellt wurden. Bei allen Versuchen wurde Sonnenlicht benutzt. Die auf diese Weise erhaltenen Resultate sind nun folgende:

Zunächst konnte ich die von Stahl beobachtete Erscheinung bestätigen, dass Navicula sich bei schwächerer Beleuchtung, etwa bei diffusem Tageslicht, oder in einiger Entfernung vom Fenster am positiven, im direkten Sonnenlicht aber am negativen Tropfenrande ansammelt. Schon nach einiger Zeit der Einwirkung nämlich sieht man von dem in der Mitte des Tropfens liegenden diatomeenhaltigen Schlammstück ausgehend einen

grossen Schwarm gegen die positive resp. negative Seite vorrücken, der im Verlauf von 1—4 Stunden den Tropfenrand erreicht, also eine Strecke von fast 1 cm zurücklegt und sich nun hier ausbreitet, wobei die Diatomeen in der Regel nur noch schwache Gleitbewegungen ausführen. Häufig ist die Ansammlung so vollständig, dass man am entgegengesetzten Tropfenrand kein einziges Individuum trifft (Fig. 4), häufig aber ist auch eine Anzahl von Individuen im ganzen Tropfen zerstreut und selbst am entgegengesetzten Rande zu treffen. Bisweilen habe ich sogar die Erscheinung beobachtet, die STRASBURGER auch

Fig. 4.



Tropfen mit vollkommener Ansammlnng von Navicnla am Tropfenrand. In der Mitte des Tropfens ein Schlammfetzen, von dem die Diatomeen nach dem Rande zu kriechen. Vergrössert.

an gewissen Schwärmsporen bemerkte, dass an beiden entgegengesetzten Tropfenrändern eine Ansammlung stattfand, an dem einen eine kleinere, am andern eine grössere, während nur äusserst wenige Individuen im übrigen Tropfen zerstreut waren. Es zeigt sich hierin also auch eine individuelle Lichtstimmung. Der Einfluss des Standorts auf die Lichtstimmung der Diatomeen machte sich ebenfalls geltend. Ich hatte von der ursprünglichen Cultur mehrere kleine abgezweigt und an verschieden hellen Orten aufbewahrt. Diejenigen, welche immer dem Sonnenlicht

ausgesetzt gewesen waren, zeigten sich auf eine bedeutend höhere Intensität gestimmt, als diejenigen, welche im Halbdunkel gestanden hatten, ein Zeichen, dass sich ihre Lichtstimmung der Intensität der Beleuchtung anpasst.

Wie auch STAHL anführt, gleiten die Diatomeen nicht in der Weise vorwärts, dass ihre Längsaxe immer in der Richtung der Lichtstrahlen eingestellt bleibt, sondern sie kriechen häufig nach der Seite oder gleiten auch wieder ein Stück in entgegengesetzter Richtung. Man kann daher selbst während der Dauer der Lichteinwirkung unter dem Mikroskop in jedem Augenblick Individuen sehen, die nach ganz verschiedenen Richtungen mit ihrer Längsaxe eingestellt sind und in diesen Richtungen kriechen. Indessen habe ich doch stets gefunden, dass in jedem gegebenen Augenblick bei weitem die Mehrzahl aller Individuen in der Richtung des einfallenden Lichts kriecht und nur von Zeit zu Zeit von dieser Richtung abweicht.

Als die allein wirksamen Lichtstrahlen erwiesen sich auch bei den Diatomeen die kurzwelligen. Während bei Anwendung von Rubinglas oder Kalibichromatlösung nie eine Ansammlung am Tropfenrande eintrat, sondern alle Individuen sich selbst nach vielstündiger Einwirkung nur gleichmässig im Tropfen ausbreiteten, war bei Einschaltung von Kobaltglas oder Kupferoxydammoniaklösung die Ansammlung sehr deutlich. Nach Einschiebung des grünen Glases war nur bei directem Sonnenlicht eine nicht sehr deutliche Wirkung zu sehen.

Die Thatsache, dass die langwelligen Lichtstrahlen ohne Einfluss auf die Bewegungsrichtung der Diatomeen sind, steht scheinbar im Widerspruch mit der Angabe ENGELMANNS, dass bei Wiederherstellung der Bewegungen nach Sauerstoffentziehung gerade den rothen Strahlen das Maximum der Wirksamkeit zukommen soll. Indessen ist dabei nicht zu übersehen, dass die Fähigkeit der Bewegung überhaupt scharf zu trennen ist von der Fähigkeit den Körper zu richten. Erstere ist bei den Diatomeen, wie ENGELMANN nachgewiesen hat, von der Anwesenheit von Sauerstoff abhängig, der bei äusserem Sauerstoffabschluss nur in den assimilatorisch wirksamen, d. h. den langwelligen Strahlen von dem Chromophyll des Protists selbst producirt wird; letztere dagegen wird, wie wir gezeigt haben, und wie wir auch aus Analogie mit anderen farbstoffhaltigen Organismen schliessen können, allein von den kurzwelligen Strahlen bedingt.

Ganz ähnlich wie Navicula brevis verhielt sich die von mir untersuchte Stauroneïsform, nur mit dem Unterschiede, dass ich sie immer negativ phototaktisch fand, da sie selbst im Halbdunkel noch an den negativen Tropfenrand kroch. Wurde die Lichtintensität immer mehr abgeschwächt, bis fast zum Dunkel, so trat zuletzt gleichmässige Ausbreitung der Diatomeen im Tropfen ein, aber keine Ansammlung am positiven Tropfenrande.

Eine Ausnahme habe ich nur constatiren können an den Individnen einer Cultur, die ca. 2 Wochen am Fenster im Lichte gestanden hatte. Diese zeigten bei diffusem Tageslicht eine schwache und im Halbdnnkel eine vollkommene Ansammlung am positiven Tropfenrande. Im ersteren Falle war zugleich eine geringe Ansammlung am negativen Raude, während viele Individuen gleichmässig im Tropfen zerstreut blieben, im letzteren Falle war keine Ansammlung am negativen Raude und nnr wenige Individuen in der Mitte des Tropfens vertheilt. Also auch Stauroneïs lässt den Einfluss der Lichtverhältnisse des Standorts auf die Lichtstimmung der Cultur deutlich erkennen.

5. Oscillarien.

Ueber die Wirkung des Lichts auf die Bewegungen der Oscillarien liegt meines Wissens nur eine kurze Bemerkung von STAHL[45]) und KLEBS[46]) vor, die beide angeben, dass diese Protistencolonien heliotropisch sind. Ich habe bei dieser geringen Kenntniss selbst eine Reihe von Versuchen an einer Form gemacht, die ich nach ZOPF als Glaucothrix gracillima bestimmt habe. Die Methodik war dabei ganz dieselbe wie bei den Versuchen an Diatomeen, nur dass ausser den Versuchen im offenen Tropfen auch solche in kleinen Glasnäpfchen und Glasröhren gemacht wurden, da die Objecte gross genug sind, nm eine Ansammlung auch mit blossem Auge erkennen zu lassen. Diese Versuche führten nun zu folgenden Ergebnissen.

Die Oscillarienfäden sind in ausgezeichneter Weise phototaktisch. Bei jeder Lichtintensität vom Halbdnnkel bis zum directen Sonnenlicht bildeten sie eine stets vollkommene Ansammlung am positiven Tropfenrand, ohne dass ausserdem noch

[45]) E. Stahl: „Zur Biologie der Myxomyceteu". In Bot. Zeitung 1884.

[46]) Klebs: „Ueber die Bewegung und Schleimbildung der Desmidiaceen". Iu Biol. Centralblatt Bd. V.

einzelne Individuen am negativen Rand oder in der Mitte des Tropfens zu finden waren. Nur bei ganz intensivem Sonnenlicbt war keine Anhäufung am positiven Rande bemerkbar; viele Fäden waren im Tropfen gleichmässig zerstreut und es zeigte sich eine mässig starke Ansammlung am negativen Rande. In einer Cultur, welche zwei Wochen am Fenster in intensivem Sonnenlicht gestanden batte, waren alle Oscillarien verschwunden.

Die Ansammlung entsteht in der Weise, dass die Fäden durch langsame Biegungen und Drehungen sich mit ihrer Längsaxe allmählig in die Richtung der einfallenden Lichtstrablen einstellen und in dieser Richtung vorwärts kriechen, so dass sie nach einiger Zeit der Einwirkung alle im wesentlichen parallel nnter einander gericbtet sind; nur einzelne wenige finden sich stets nach anderen Richtungen gekrümmt nnd bilden Schleifen, eine Erscheinung, die vermuthlich auf Hindernisse, welche das Substrat dem Kriechen entgegenstellt, zurückzufübren ist. Sind die Fäden am positiven Tropfenrande angelangt, so legen sie sich dem Rande parallel an, indem sie sich so fest an einander drängen, dass sie einen breiten grünlichen Wall bilden. Ihre Längsaxen sind also nunmehr zu den einfallenden Lichtstrahlen senkrecbt gerichtet. Ist die Ansammlung am Tropfenrande erst einmal vollendet und liegen die Fäden dann still, so gelingt es nicht mehr, dieselben durch Drehen des Präparats um 180° nacb der entgegengesetzten Seite, d. h. nacb dem jetzt positiv gewordenen Tropfenrand zu locken, wie dies z. B. bei Flagellaten leicht zu erzielen ist. Höchstens kriechen vereinzelte Fäden hinüber, die sich noch nicht ganz festgelegt hatten; der grüne Wall aber bleibt an dem nunmehr negativ gewordenen Rande selbst bei sehr langer Einwirkung aller Lichtintensitäten unbeweglich liegen.

Die Versucbe, welche sich auf die Ermittelung der wirksamen Strahlen bezogen, batten das ganz unvermuthete Ergebniss, dass Strahlen von allen Wellenlängen ungefähr von der Linie a bis über G hinaus die Bewegnngen der Oscillarien beeinflussen, d. h. Kriechen in der Richtung der einfallenden Strahlen und Anbäufung der Fäden am Tropfenrande bewirken. Die angewandten Versuchsmethoden gestatteten bei Prüfung irgend einer Farbe den Ausschluss jedes anderen Licbts so vollkommen, dass an dem Ergebniss, welches alle diesbezüglicben Versucbe in gleicher Weise zoigten, nicht zu zweifeln ist. Die Ansammlung der Oscillarien war nach Einschaltung von

Rubinglas oder Kalibichromatlösung, auch im Halbdunkel, ebenso vollkommen, wie bei Anwendung von grünem Glas, Kobaltglas, Kupferoxydammoniaklösung oder reinem Sonnenlicht. Dies Ergebniss ist unvermuthet insofern, als bei den anderen farbstoffhaltigen Organismen, welche auf ihren Heliotropismus bisher untersucht worden sind, stets nur die kurzwelligen Sonnenstrahlen als die wirksamen erkannt wurden. Vielleicht liegt diese Verschiedenheit des Verhaltens an der Beschaffenheit des den Oscillarien eigenthümlichen Farbstoffs.

6. Desmidiaceen.

Der Einfluss von Lichtreizen auf die Bewegungen der Desmidiaceen wurde zuerst genauer von STAHL[47]) untersucht, besonders an Closterium moniliferum. Ganz analog den meisten anderen farbstoffhaltigen Organismen, welche auf Lichtreize reagiren, stellt sich auch Closterium moniliferum bei diffusem Tageslicht mit seiner Längsaxe in die Richtung der einfallenden Lichtstrahlen ein. In Verbindung mit der den Desmidiaceen eigenthümlichen Bewegungsform kommt dadurch ein Hinwandern nach der Lichtquelle zu Stande. Closterium moniliferum bewegt sich nämlich folgendermassen vorwärts. Nachdem es seine Längsaxe in der angegebenen Weise eingestellt hat, wird abwechselnd ein Ende am Boden angeheftet, während das andere frei nach der Einfallsrichtung des Lichts unter einem bestimmten Winkel ins Wasser emporragt. Das freie Ende pendelt dann um den Anheftungspunkt einige Zeit herum, bis es sich in der Richtung der Lichtstrahlen senkt und sich selbst am Boden des Gefässes anheftet. Alsbald erhebt sich darauf das andere Ende, dreht sich um 180° und pendelt in der gleichen Weise eine Zeit lang, bis es sich ebenfalls anheftet, während sich das erstere wieder erhebt und so fort. Auf diese Weise, die man leicht jederzeit an der genannten Desmidiaceenform verfolgen kann, nähern sich die Protisten im wesentlichen unter einander parallel der Lichtquelle. Daneben kommt auch ein einfaches Fortgleiten auf dem angehefteten Pol ohne Umschlagen in der Richtung der einfallenden Strahlen vor, wobei das freie Ende voran gerichtet ist.

---

[47]) E. Stahl: „Ueber den Einfluss von Richtung und Stärke der Beleuchtung auf einige Bewegungserscheinungen im Pflanzenreich". In Bot. Zeitung 1880.

Diese Erscheinungen sind nur bei diffusem Tageslicht zu beobachten. Wird die Lichtintensität erhöht, so dreht das freie Ende sich um 90° zur Richtung der einfallenden Strahlen und bleibt stundenlang so stehen, eine Stellung, die STAHL als Profilstellung bezeichnet hat. Pleurotaenium zeigte die gleiche Einstellung den Lichtstrahlen gegenüber, und Micrasterias rota, eine Scheibenform, erwies sich ebenfalls als heliotropisch.

Während STAHL annimmt, dass der Winkel, unter dem sich beim Vorwärtskriechen der Körper der Desmidiaceen einstellt, von der Richtung der einfallenden Lichtstrahlen abhängig ist, glaubt KLEBS, der ebenfalls den Heliotropismus einiger Desmidiaceenformen und besonders die Art ihrer Bewegung durch Gallertabscheidung genauer untersuchte, dass dieser Winkel unabhängig vom Lichte ist, und deutet ihn als einen jede Form charakterisirenden „Eigenwinkel“. Der letzteren Ansicht schliesst sich auch neuerdings ADERHOLD an, indem er annimmt, dass der Winkel von der Form des Endes jeder Alge abhängig ist und „immer so gewählt wird, dass beim Fortrutschen der möglichst kleinste Reibungswiderstand geboten ist“. ADERHOLD beobachtete zugleich den von Klebs bei den Desmidiaceen vermissten negativen Heliotropismus im directen Sonnenlicht, den er bei Pleurotaenium nodulosum und Pl. coronatum in der hervorragendsten Weise ausgeprägt fand. Die Algen bewegten sich dabei mit dem freien Ende vom Lichte weg. Durch Drehung des Präparats konnte die Richtung der Bewegung in dem betreffenden Sinne geändert werden. Da auch ADERHOLD die Individuen verschiedener Culturen der gleichen Art in verschiedener Weise auf Licht gestimmt fand, so dass sich sogar manche Culturen überhaupt ganz indifferent gegen Licht zeigten, so ist zu vermuthen, dass die Differenz mit den Angaben von KLEBS auf diese verschiedene Lichtstimmung, die ja, wie oben bemerkt, auch bei anderen Protisten verbreitet ist, zurückgeführt werden muss.

Ueber die Wirksamkeit der Strahlen von verschiedenen Wellenlängen sind bisher leider noch keine Untersuchungen gemacht worden, so dass nicht mit Sicherheit zu sagen ist, ob auch hier wie bei den meisten grünen Protisten nur die kurzwelligen Lichtstrahlen die Richtung der Bewegung beeinflussen.

7. Ciliaten.

Die Reactionsfähigkeit der Ciliaten auf Lichtreize, ist soweit mir die Litteratur bekannt ist, bisher noch nicht zum Gegenstand eingehenderer Untersuchungen gemacht worden, mit einer einzigen Ausnahme, bei der aber eigentlich nicht von einer directen Lichtwirkung gesprochen werden kann. ENGELMANN[48]) stellte nämlich durch eine Reihe von Versuchen an Paramaecium bursaria, das mit parasitären grünen Algen durchsetzt war, sowie an anderen algenführenden Ciliaten fest, dass die Bewegungen derselben vom Licht beeinflusst werden, indem die Lichtstrahlen unter Umständen die Sauerstoffmenge verändern können, welche ihnen zum Leben nöthig ist.

Ist nämlich den Protisten die Sauerstoffzufuhr im Dunkeln abgeschnitten, so werden ihre Bewegungen unruhig und stürmisch. Wird das Präparat nun dem Licht ausgesetzt, so wird durch die Algen in ihrem Körper wieder Sauerstoff in genügender Menge erzeugt, und die Folge ist, dass die Protisten sich wieder beruhigen. Es handelt sich also hier eigentlich nur um eine Wirkung der Sauerstoffspannung auf die Ciliaten, wie derselbe Forscher sie in ganz analoger Weise bei Diatomeen nachwies, nur mit dem Unterschiede, dass im letzteren Falle integrirende Theile des Protistenkörpers bei der Sauerstoffproduction thätig sind und bei den Ciliaten parasitäre Algen.

Ausser diesen Versuchen von ENGELMANN finde ich nur die kurze Bemerkung von GÉZA ENTZ[49]), dass sich Opalinen aus der Lichtsphäre zu retten trachten sollen. Ich habe selbst Opalina in dieser Hinsicht untersucht, weil mir diese parasitären Ciliaten, welche stets im Dunkeln leben, unter allen die meiste Wahrscheinlichkeit einer Reactionsfähigkeit auf Lichtreize zu bieten schienen; ich habe mich indessen durch eine Reihe von Versuchen überzeugt, dass eine Lichtwirkung bei diesen Protisten mit Sicherheit nicht nachzuweisen ist, wenigstens dass sie nicht die Lichtsphäre fliehen. Die Versuchsanordnung war folgende. Auf ein dünnes grosses Deckglas, welches an der unteren Seite mit einem schwarzen Papier beklebt war, das in der Mitte einen ca. 3 □mm grossen, scharf

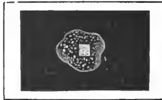
---

[48]) Engelmann: „Ueber Licht- und Farbenperception niederster Organismen". In Pflügers Arch. Bd. 29.

[49]) Géza Entz: „Studien über Protisten". Im Auftrage der kön. Ung. Naturw. Ges. Budapest 1888.

begrenzten Ausschnitt hatte (Fig. 5), wurde ein breiter Tropfen des Darminhalts eines Frosches mit vielen Individuen von Opalina ranarum gebracht nnd das Präparat auf den Objecttisch des Mikroskops gestellt. Durch verschiedene Einstellung des Spiegels konnte nnn in dem mittleren Ausschnitt eine verschieden starke Beleuchtung erzielt werden, während alle übrigen Lichtstrahlen durch Ueberstellen eines schwarzen Kästchens über den Objecttisch möglichst abgeschlossen waren. Da das Deckglas sehr dünn war, so entstand eine genügend scharfe Grenze zwischen dem beleuchteten mittleren Ausschnitt und dem übrigen dunkleu Theil des Tropfens. Die Opalinen waren gleichmässig im Tropfen vertheilt. Wären nun die Opalinen das Licht geflohen, so müsste nach einiger Zeit der helle Ausschnitt von ihnen frei gewesen sein, was durchaus nicht der Fall war. Im Gegentheil, es schwammen immer ebenso viele Opalinen über die Grenze vom Dunkeln ins Helle, als in umgekehrter Richtung, und auch nach einiger Zeit der Einwirkung war die Vertheilung der Individuen noch immer eine gleichmässige. Ein Zurückschrecken oder Stutzen der Protisten beim Ueberschreiten der Grenze von Dunkel zu Hell wurde ebenfalls niemals hemerkt.

Fig. 5.



Wenn man die Opalinen zu den Versuchen in der Darmflüssigkeit des Frosches auf den Objectträger bringt, so bemerkt man, dass die Protisten schon nach 10—20 Minuten ihre Bewegungen verlangsamen, dabei allmählig faltig werden und schliesslich die immer träger werdenden Bewegungen ganz einstellen: die Protisten sind dann todt. Da diese Erscheinung möglicher Weise eine Wirkung des Lichts sein konnte, das die an fortwährende Dunkelheit gewöhnten Protisten tödtet, so wurde, um dies zu entscheiden, eine zweite Reihe von Versuchen in folgender Weise angestellt. In einer dunkeln Kammer, welche durch eine Kerze nur so weit erhellt war, dass die Präparation dabei eben ansführbar war, wurde ein Frosch eröffnet und sein Darminhalt auf 2 Objectträger vertheilt. Der eine blieb, nachdem die Kerze ausgelöscht war, in der völlig dunkeln Kammer, während der andere an das helle Tageslicht gebracht wurde.

Nach Verlauf von $^3/_4$ Stunden, in welcher Zeit sonst das Absterben der Opalinen gewöhnlich erfolgt war, wurden beide Präparate untersucht, das eine im hellen Tageslicht, das andere bei trübem Kerzenschein in dunkler Kammer. Beide zeigten völlig gleiches Aussehen. Die an dem Rande des Darmflüssigkeitstropfens befindlichen Individuen waren todt, die etwas vom Rande entfernten machten noch schwache Bewegungen, die meisten hatten sich ganz in der Mitte des Tropfens um grössere Ballen des Darminhalts geschaart und zeigten nur wenig verlangsamte Wimperbewegung. Diese letzteren Individuen wurden nun von jedem Präparat in einen Tropfen physiologischer Kochsalzlösung auf zwei andere Objectträger gebracht, deren einer wieder in die dunkle Kammer gesetzt wurde, während der andere im Lichte verblieb. Das im Lichte befindliche Präparat wurde ununterbrochen unter dem Mikroskop beobachtet, und dabei zeigte sich, dass nach wenigen Minuten die Bewegung wieder ganz normal wurde und noch 2 Stunden so blieb; und ganz ebenso verhielten sich die Protisten in dem Präparat, welches in der Dunkelkammer gestanden hatte. Bei anderen Versuchen, bei denen die Protisten, gleich nachdem sie aus dem Darm entnommen waren, in Kochsalzlösung gebracht wurden, erhielten sie sich über 24 Stunden unter geeigneten Vorsichtsmassregeln am Leben, gleichgültig ob im Licht oder im Dunkeln. Aus diesen Versuchen geht deutlich hervor, dass die oben angeführte Erscheinung des schnellen Absterbens der Protisten im Darminhalt auf keinen Fall eine Wirkung des Lichts sein kann; und es ist zu vermuthen, dass sie eintritt in Folge chemischer Veränderungen, welche der Darminhalt an der Luft erfährt. Höchstwahrscheinlich sind sie eine Folge von Gerinnungsprocessen in demselben.

Die Unannehmlichkeit des schnellen Absterbens fällt bei den weiterhin untersuchten Ciliatenformen Stentor Roeselii, St. coeruleus, Carchesium polypinum und Uroleptus musculus fort. Stentor coeruleus kam besonders wegen seines Farbstoffs, der ihn möglicher Weise für Lichtreize empfänglich machen konnte, zur Untersuchung. Bei allen wurden hauptsächlich folgende Fragen ins Auge gefasst: 1. Ob die Wimperbewegung durch Licht verändert wird, 2. ob die Thätigkeit der Myoïde beeinflusst wird und 3. ob die Formen in freischwimmendem Zustande heliotropisch sind.

Die Versuche wurden in folgender Weise angestellt. Nach-

dem der Spiegel des Mikroskops für irgend eine Lichtintensität eingestellt und vorläufig mit einem schwarzen Papier bedeckt worden war, wurden die Protisten im offenen Tropfen auf dem Objectträger unter das Mikroskop gebracht und alle überflüssigen Lichtstrahlen in der oben angegebenen Weise abgeblendet, sowie die Wärmewirkung des durchfallenden Lichts bei höheren Intensitäten durch Einschaltung einer ca. 3 cm dicken Eisschicht möglichst ausgeschlossen. Dann wurde die Beobachtung vorgenommen, indem plötzlich das schwarze Papier vom Spiegel weggezogen wurde, wobei natürlich das Auge vor stärkeren Lichtintensitäten durch Rauchgläser, die über dem Ocular angebracht waren, geschützt werden musste. Das Ergebniss an allen untersuchten Formen war, dass sich weder eine Veränderung der Wimperbewegung noch Contractionen der Myoïde einstellten. Die Protisten blieben in ihrem Verhalten völlig normal und auch die festsitzenden Formen verliessen ihren Anheftungspunkt nicht.

Um die Ciliaten auf heliotropische Eigenschaften zu prüfen, wurde der Tropfen mit den freischwimmenden Protisten auf dem oben beschriebenen Deckglas (Fig. 5) unter das Mikroskop gebracht und alsdann derselbe Versuch gemacht wie an Opalina. Auch wurden Versuche mit einseitig einfallendem Licht gemacht, oder mit Beschattung der einen Hälfte des Tropfens durch einen schwarzen Schirm. Aber weder in der einen noch in der andern Versuchsanordnung trat eine Ansammlung in der einen Tropfenhälfte ein, und die Protisten verhielten sich zu der Grenze von Dunkel und Hell selbst bei Anwendung concentrirten Sonnenlichts vollkommen gleichgültig, als ob eine Grenze überhaupt nicht existirte.

Diese Versuche, welche mit Ausschaltung aller möglichen Fehlerquellen in grösserer Zahl gemacht wurden, sowie verschiedene orientirende Versuche an anderen Ciliatenformen, welche das gleiche Resultat hatten, scheinen mir zu beweisen, dass bei den Ciliaten die Fähigkeit, auf Lichtreize in wahrnehmbarer Weise zu reagiren, entweder sehr wenig verbreitet oder überhaupt nicht vorhanden ist.

Es war nöthig, auch die früheren Beobachtungen und Versuche über die Wirkung von Lichtreizen auf Protisten anzuführen, weil bei einem solchen Ueberblick erst eine Gesetzmässigkeit in

den Erscheinungen hervortritt. Es hat sich bei den Untersuchungen zunächst die höchst wichtige Thatsache herausgestellt, dass eine ganze Reihe von Protistenformen gar keine wahrnehmbare Reaction auf Lichtreize zeigt, und es muss mithin die Frage aufgeworfen werden, ob das Licht vielleicht überhaupt keine Wirkung auf diese Protisten ausübt. Von vornherein ist man zwar nicht berechtigt aus der Thatsache, dass keine Lichtwirkung wahrnehmbar ist, den Schluss zu ziehen, dass überhaupt jede Wirkung fehlt. Es könnte ja eine Wirkung des Lichts geben, die sich unserer Wahrnehmung auch bei den schärfsten Mitteln, mit denen wir unsere Sinne unterstützen, entzieht. Indessen wird doch die Annahme einer solchen Wirkung für gewisse Protisten (z. B. einige Rhizopoden, Bacterien, Ciliaten etc.) von der Hand gewiesen werden müssen, wenn man berücksichtigt, dass diese Organismen, wie ich durch Versuche feststellte, ohne irgend welche Störung ihrer Functionen beliebig lange Zeit dem Lichte resp. der Dunkelheit ausgesetzt werden können, vorausgesetzt, dass durch den Versuch nicht anderweitige abnorme Verhältnisse in dem umgebenden Medium geschaffen werden. Dies Ergebniss wäre aber nicht zu erwarten, wenn irgend eine auch noch so geringe Wirkung des Lichts vorhanden wäre, da diese sich doch jedenfalls im Stoffwechsel der betreffenden Protisten bemerkbar machen und dadurch manche Functionsstörung verursachen würde. Andererseits aber erscheint es kaum annehmbar, dass die genannten Organismen, wenn das Licht in irgend welcher Weise auf sie wirkte, d. h. ihren Stoffwechsel in günstiger oder ungünstiger Richtung beeinflusste, nicht durch einen Selectionsvorgang Stellung zu dieser Lichtwirkung genommen hätten, d. h. das Licht aufsuchten oder sich dagegen schützten, wie dies ja bei den auf Licht reagirenden Protisten der Fall ist. Mir scheint gerade diese letztere Fähigkeit eine nothwendige Folge jeder Lichtwirkung zu sein, auf welche die Selection hinzielt. So erscheint mir denn hiermit die Ansicht begründet, dass die Lichtreizbarkeit keine allgemeine Eigenschaft alles Protoplasmas ist, was von manchen Forschern behauptet wird, wie z. B. von KLEBS [50]), welcher sagt: „Jedes Protoplasma besitzt eine gewisse Lichtempfindung, ebenso wie Contractilität", sondern dass sie erst in der Entwicklungsreihe der Organismen erworben wurde.

[50]) G. Klebs: „Ueber die Organisation einiger Flagellatengruppen". In Arbeiten aus dem Bot. Institut z. Tübingen Bd. I.

Um schliesslich noch einen kurzen Rückblick auf die Erscheinungen an denjenigen Organismen zu werfen, welche vom Licht in ihren Bewegungen beeinflusst werden, so finden wir also folgende Wirkungsweisen des Lichts.

Zunächst äussert sich die Lichtwirkung in vielen Fällen darin, dass das Licht Bewegung erzeugt, wenn die betreffenden Organismen vorher in Ruhe waren. Bei dem einen Theile dieser Protisten werden Bewegungen überhaupt nur durch die Einwirkung von Licht ermöglicht, wie bei Bacterium photometricum; auf eine zweite Kategorie dagegen wirkt das Licht indirect und nur bedingungsweise Bewegung erregend, indem es im Organismus Sauerstoff producirt, der ihm zur Bewegung unerlässlich ist. Also nur wenn das Protist wegen Sauerstoffmangel in Ruhe war, stellt das Licht in diesem Falle die Bewegung wieder her, während bei genügender Sauerstoffanwesenheit auch ohne Licht Bewegung vorhanden ist. Solche Protisten sind Bacterium chlorinum, Diatomeen etc.

Wirkt das Licht einerseits Bewegung erzeugend, so kommt andererseits auch eine Bewegung hemmende Wirkung vor, z. B. bei Pelomyxa palustris. Bei Einwirkung des Lichts werden die Pseudopodien eingezogen und es tritt Neigung ein, Kugelgestalt anzunehmen, wobei natürlich die Bewegung aufhört.

In der Mehrzahl dieser Fälle und aller übrigen, wo die Bewegungsfähigkeit an sich nicht allein von der Anwesenheit des Lichts bedingt ist, beobachtet man die Erscheinung, dass die Richtung der Lichtstrahlen die Bewegung beeinflusst, eine Wirkung, die STRASBURGER „Phototaxis“ nennt. Der Begriff „Phototaxis“ findet sein Homologon im Pflanzenreich in der Erscheinung des „Heliotropismus“, so dass man berechtigt ist, beide Begriffe zu identificiren. Je nachdem die betreffenden Protisten sich dem Einfall der Lichtstrahlen entgegen oder in der Richtung der einfallenden Strahlen von der Lichtquelle fortbewegen, d. h. also je nachdem sie „photophil“ oder „photophob“ sind, hat man „positive“ oder „negative Phototaxis“ resp. „positiven“ oder „negativen“ Heliotropismus zu unterscheiden. Der Heliotropismus der Protisten beruht auf der Eigenthümlichkeit, dass dieselben ihre Körperaxe in der Richtung der Lichtstrahlen einstellen, wodurch bei der gewöhnlichen Bewegungsweise die Annäherung resp. Entfernung von der Lichtquelle ohne weiteres zu Stande kommen muss.

Bei den meisten Protisten ist ferner die Lichtintensität von grossem Einfluss auf die Bewegungen, eine von STRASBURGER als „Photometrie“ bezeichnete Eigenthümlichkeit, die darin besteht, dass diese Protisten bei gewissen Intensitäten positiv, bei anderen negativ und bei manchen überhaupt nicht phototaktisch sind. Sie sind also auf eine bestimmte Lichtintensität gestimmt. Die Lichtstimmung kann unter Umständen bei derselben Protistenform individuell verschieden sein.

Ausser der Intensität der Lichtstrahlen ist die Wellenlänge derselben von Bedeutung. Es hat sich herausgestellt, dass die meisten Protisten nur auf bestimmte Farben, d. h. Strahlen von bestimmten Wellenlängen reagiren, welche durchaus nicht für alle die gleichen sind. Bacterium photometricum z. B. reagirt nur auf ultrarothe Strahlen und in geringerem Maasse noch auf die Strahlen zwischen den Fraunhoferschen Linien C und D. Die Flagellaten und Schwärmsporen, Myxomyceten sowie Diatomeen zeigen sich nur für kurzwellige Strahlen phototaktisch, während alle andern Strahlen wie Dunkel wirken. Dagegen wird die sistirte Bewegungsfähigkeit bei Diatomeen hauptsächlich durch rothe Strahlen wieder wachgerufen, und Oscillarien endlich sind bei allen Wellenlängen phototaktisch.

Schliesslich zeigt das Licht bei fast allen angeführten Erscheinungen Nachwirkungen, d. h. die betreffende Wirkung des Lichts dauert noch einige Zeit fort, nachdem die Lichtstrahlen schon aufgehört haben einzuwirken. Als eine Form der Nachwirkung wird man ferner die Erscheinung aufzufassen haben, dass Culturen derselben Protisten-Form, die verschiedener Lichtintensität ausgesetzt waren, auch ungleiche Lichtstimmung besitzen.

Wie oben bemerkt, muss man die Fähigkeit der Organismen auf Licht zu reagiren als eine Anpassung an bestimmte Lebensverhältnisse auffassen, die ihren grossen Nutzen für die Existenz des Organismus hat. Denn wenn einmal das Licht irgend eine Veränderung in der chemischen Zusammensetzung des Protoplasmas eines Organismus verursacht, so wird natürlich das Streben der Selection darauf gerichtet sein, falls das Licht die Lebensprocesse begünstigt, den Organismus in die Lage zu setzen, das Licht aufzusuchen, falls es sie hemmt oder gar unterdrückt, das Licht zu fliehen oder sich in irgend einer geeigneten Weise gegen den schädlichen Einfluss derselben zu schützen. So wird man denn in der That auch allen den Erscheinungen, über welche soeben ein kurzer Ueberblick gegeben wurde, bei einer genaueren Prü-

fung nach diesem Nützlichkeitsgesichtspunkte die Vortheile, welche sie den betreffenden Protisten gewähren, nicht absprechen können.

B. Bewegungen auf Wärmereize.

Alle protoplasmatischen Gebilde werden bekanntlich von gewissen Temperaturen in ihren Lebenserscheinungen beeinflusst. Für jeden Organismus giebt es eine untere Temperaturgrenze, bei welcher sein Leben erlischt, und eine obere, auf der sein Protoplasma gerinnt. Hier kommt es darauf an, festzustellen, inwieweit die Bewegungserscheinungen der Protisten innerhalb dieser Grenzen durch verschiedene Temperaturgrade beeinflusst werden.

1. Rhizopoden.

Die grundlegenden Versuche auf diesem Gebiet, wurden 1864 von KÜHNE[51]) gemacht. Derselbe fand, dass Amoeba diffluens sich bei 35°C. zur Kugelform zusammenzieht und dann gar keine oder höchstens sehr schwache Bewegungen ausführt. KÜHNE bezeichnet diesen Zustand als „Wärmetetanus", denn werden die Protisten wieder abgekühlt, so sind sie nach zwei Stunden wieder in normaler Bewegung. Wird die Erwärmung dagegen weiter fortgesetzt, so tritt bei 40—45° C. der Tod durch Gerinnung ein, und zwar gelang es KÜHNE festzustellen, dass zwei verschiedene Substanzen des Körperinhalts bei verschiedenen Wärmegraden gerinnen, die eine, die contractile Substanz, bei ca. 40° C. die andere dagegen in dem nun bewegungslos gewordenen Körper erst bei ca. 45° C. Auch das Verhalten gegen niedere Temperaturen wurde an demselben Versuchsobject geprüft, wobei sich ergab, dass wenn die Amoeben mehrere Stunden auf Eis gestanden hatten, ihre Form nicht verändert, aber ihre Bewegungen erloschen waren. Der Tod trat ein, wenn die Protisten auf einer Kältemischung im Tropfen eingefroren waren. Auch hierbei war ihre Form nicht verändert, sie waren also nicht im Contractionszustand gestorben, sondern ihre Bewegungen waren allmählig erstarrt.

Derselbe Forscher experimentirte ferner an Actinosphaerinum Eichhornii. Bei 35—40° C. werden die Pseudopodien eingezogen und das Protoplasma des Körpers zieht sich zusammen, d. h. das Protist verfällt in Wärmetetanus, der durch

[51]) W. Kühne: „Untersuchungen über das Protoplasma und die Contractilität". Leipzig 1864.

Abkühlung wieder gelöst werden kann. Beiläufig sei bemerkt, dass nach MAX SCHULTZE[52]) dieser Zustand erst bei 43° C. eintritt, eine Differenz, deren Erklärung vermuthlich in der Versuchsmethodik zu suchen ist. Auf 45° C. erwärmt, gerinnen die Protisten plötzlich zu einem flachen Kuchen. Ich selbst habe letztere Erscheinung nur bei schnell steigender Temperatur bemerkt, während bei sehr vorsichtigem und langsamem Erwärmen nach Einziehung der Pseudopodien die Vacuolen der Rindenschicht aufzuplatzen begannen und ein körniger Zerfall des Protoplasmas eintrat, der von der Peripherie nach dem Centrum hin vorwärts schritt. Wurde das Protist, wenn nur noch ein kleiner Kern in der Mitte unversehrt geblieben war, schnell in Wasser von der gewöhnlichen Temperatur gesetzt, so erholte sich dieser Kern nach 1—2 Stunden wieder vollständig und umgab sich mit einer neuen Rindenschicht, von der Pseudopodien ausgesendet wurden, so dass daraus wieder ein ganz normales Actinosphaerium von entsprechender Kleinheit entstand, obwohl die Pseudopodien und die Rindenschicht vorher ganz zerstört worden waren.

Aehnliche Resultate wie an Actinosphaerium und Amoeba erhielt KÜHNE an Myxomyceten. Bei Didymium serpula stand die Bewegung schon bei 30° C. still, wobei die Zweige klumpig wurden und Hervorragungen erscheinen liessen. Schon bei 35° C. trat der Tod ein. Aethalium septicum dagegen verfiel erst bei 39° C. in Wärmetetanus und gerann bei 40° C.

Nach ENGELMANN[53]) nimmt mit steigender Temperatur die Beweglichkeit der Amoeben und anderer nackter Protoplasmamassen bis zu einem gewissen Grade zu, ist dieser Grad überschritten, so sinkt sie allmählig wieder bis zur Wärmestarre.

Ich konnte diese Angabe bestätigen, und zwar nach Beobachtungen an einer Amoebenform, die ich unter eigenthümlichen Bedingungen antraf. Als ich den Bodensatz eines Gläschens mit Wasser, welches seit ca. 3 Wochen im Brütofen des physiologischen Instituts zu Jena bei einer constanten Temperatur von 37° C. gestanden hatte, auf eine Aufforderung des Herrn Prof. PREYER untersuchte, fand ich eine ungeheure Menge

[52]) Max Schultze: „Das Protoplasma der Rhizopoden und der Pflanzenzellen". Leipzig 1863.

[53]) Engelmann: „Physiologie der Protoplasma- und Flimmerbewegung". In Hermanns Handbuch der Physiologie Bd. I.

von kleinen Amoeben, welche einen Kern und eine grosse Vacuole besassen und mit mässiger Geschwindigkeit krochen. Die Form war nicht näher bestimmbar. Wurden diese Amoeben im hängenden Tropfen oder auf dem Objectträger der Zimmertemperatur (18 ° C.) ausgesetzt, so nahm mit fortschreitender Abkühlung die Beweglichkeit ab, bis sie schliesslich ganz erloschen war. Die Präparate konnten in der feuchten Kammer zwei Tage lang bei Zimmertemperatur gehalten werden, ohne dass die Amoeben wesentliche Veränderungen gezeigt hätten. Wurden dieselben aber auf dem MAX SCHULTZEschen heizbaren Objecttisch wieder erwärmt, so fingen auch die Amoeben bei ca. 25 ° C. wieder langsam an, sich zu bewegen, und ihre Beweglichkeit nahm zu bis ca. 38 ° C.; bei höberer Temperatur war eine Steigerung nicht mehr bemerkbar. Leider habe ich versäumt, als ich das Material zur Verfügung hatte, zu untersuchen, bei welcher Temperatur die Gerinnung eintrat. Vermutblich hätte sich für diese an hohe Temperatur gewöhnte Form ein etwas höherer Grad herausgestellt als für die Amoeben, welche KÜHNE untersuchte.

Die angeführten Untersuchungen lassen zur Genüge erkennen, wie die Bewegungsfähigkeit bei den Rhizopoden völlig von der Höhe der Temperatur beherrscht wird.

Thermotropismus.

Angesichts der Thatsache einer solchen Beeinflussung der Bewegungsfähigkeit durch die Wärme war die Vermutbung berechtigt, dass auch die Bewegungsrichtung in gewissem Grade von der Wärme bestimmt wird, in ähnlicher Weise, wie es durch das Licht geschieht. Eine solche dem Heliotropismus analoge Wirkung der Wärme hat denn auch neuerdings STAHL [54]) an Myxomyceten beobachtet. Die Anordnung des betreffenden Versuchs war folgende. Zwei Bechergläser, deren eines mit Wasser von 7 °, deren anderes mit Wasser von 30 ° gefüllt war, wurden neben einander aufgestellt und über dieselben ein Streifen Fliesspapier, auf dem sich ein Plasmodium von Aethalium septicum befand, in der Weise gelegt, dass die beiden Enden des Streifens mit den entsprechenden Enden des Plasmodiums in das Wasser je eines der beiden Gläser hineinhingen. Der Erfolg war der, dass das Plasmodium aus dem

[54]) E. Stahl: „Zur Biologie der Myxomyceten“. In Bot. Zeitung 1884.

kälteren Wasser herauskroch und sich nach dem warmen Wasser hinüberzog, obgleich es vor dem Versuch die entgegengesetzte Kriechrichtung inne hatte.

Die Grösse der Myxomycetenplasmodien macht diese Organismen für die Versuche besonders geeignet; grosse Schwierigkeiten stellen sich dagegen einer weiteren Untersuchung über die Verbreitung der richtenden Wirkung der Wärme unter den übrigen Protisten wegen der Kleinheit der Objecte in den Weg. Trotzdem bin ich bei Gelegenheit der Prüfung von Protisten auf ihre Lichtreactionsfähigkeit zu einer Methode gelangt, welche auch bei so kleinen Protisten wie Amoeben eine derartige Untersuchung gestattet.

Als nächstliegendes Versuchsobject dienten mir Amoeben, und zwar die als Amoeba limax bezeichnete, wohlcharakterisirte Form. Die Schwierigkeit der Untersuchung besteht bei diesen kleinen Organismen darin, dass, wenn man sie auf die Fähigkeit, ihre Bewegung nach der Wärme zu richten, prüfen will, man genöthigt ist, sie partiell zu erwärmen. Das ist natürlich kaum möglich, wenn man ihnen die Wärme durch Leitung zuführt, da hierbei die Temperaturdifferenz an zwei so nahe an einander gelegenen Punkten, wie sie zwei gegenüberliegende Pole einer Amoebe selbst bei grösster Ausstreckung bieten, ungefähr gleich 0 sein würde. Ich habe mich daher bei meinen Versuchen der strahlenden Wärme des Sonnenlichts bedient, und zwar in einer ähnlichen Versuchsanordnung, wie sie bei der Untersuchung der Opalinen auf Lichtreactionsfähigkeit beschrieben wurde. Auf eine ca. 5 □cm grosse Glasplatte wurde ein quadratisches Blättchen schwarzen Papiers geklebt, welches in der Mitte einen viereckigen ca. 3 □mm grossen, sehr scharf begrenzten Ausschnitt besass. Diese Platte wurde auf den Objecttisch des Mikroskops gelegt, so dass der Ausschnitt sich gerade im Gesichtsfelde befand, auf welches der Spiegel des Mikroskops concentrirtes Sonnenlicht (im Juli) fallen liess. Nachdem der Spiegel vorläufig mit schwarzem Papier bedeckt war, wurde nunmehr ein grösserer Tropfen mit amoebenhaltigem Wasser auf einem dünnen grossen Deckglase über die schwarz beklebte Glasplatte geschoben (Fig. 6) und bei mattem, auffallendem Licht in der Weise eingestellt, dass eine Amoebe, welche eine bestimmte Kriechrichtung inne hatte, in wenigen Secunden mit dem vorderen Theil über die bei der Dünne des Deckglases genügend scharfe Grenze des Ausschnitts nach dem

Hellen kriechen musste. Amoeba limax eignet sich besonders zu diesen Versuchen, da sie in einer Axe langausgestreckt ist und in der Richtung dieser Axe ziemlich geradlinig vorwärts kriecht. In demselben Augenblick, wo die Amoebe mit dem vorderen Pol die Grenze überschritt, wurde die Decke vom Spiegel entfernt und das concentrirte Sonnenlicht fiel voll und ganz durch den Ausschnitt. Ein kleiner Theil des Körpers schob sich noch über die Grenze, dann trat einen Augenblick Stillstand ein und nach wenigen Secunden begann das Protoplasma der Amoebe rückwärts zu fliessen. Es bildete sich jenseits der Grenze, im Dunkeln ein neues Pseudopodium und die Amoebe kroch nun in entgegengesetzter Richtung weiter, d. h. also wieder ins Dunkle zurück (Fig. 7). Der ganze Vorgang vom Augenblick der Beleuchtung an bis die Amoebe sich wieder ganz ins Dunkle zurückgezogen hatte, dauerte 10—30 Secunden, je nach der Intensität der Sonnenstrahlen und je nach der Länge des Körperabschnitts, welcher schon die Grenze überschritten hatte. Der Versuch wurde sehr oft wiederholt und immer mit demselben exacten Erfolge. Bei späteren Versuchen wurde der Spiegel vorher gar nicht erst verdunkelt, sondern

Fig. 6.

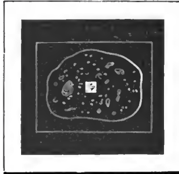
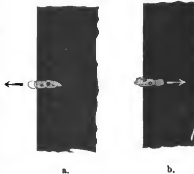


Fig. 7.



Amoeba limax. a. vor der Bestrahlung über die Grenze kriechend, b. während der Bestrahlung zurückkriechend.

es gelang, nachdem mehrere Rauchgläser auf das Ocular des Mikroskops gelegt worden waren, um die Beobachtung in dem concentrirten Sonnenlicht zu ermöglichen, durch Verschieben der Glasplatte und des Deckglases gegen einander ziemlich schnell Amoeben so einzustellen, dass sie im Verfolg der Kriechrichtung, welche sie inne hatten, gerade in einem rechten Winkel auf die Grenze zwischen Dunkel und Hell stossen mussten. Sowie die Grenze erreicht war, trat einen Augenblick Stillstand des Vorwärtsfliessens ein, und nach mehreren Secunden kroch die Amoebe in entgegengesetzter oder seitlicher Richtung ins Dunkle zurück. Bei einiger Uebung war es nicht schwer, Amoeben, welche eine bestimmte Kriechrichtung inne hatten, dadurch, dass ihnen nach einander bald hier, bald dort die Grenze vorgeschoben wurde, nach jeder beliebigen Richtung hin zu treiben, da sie immer ins Dunkle krochen.

Es bleibt aber noch der Nachweis übrig, dass es sich bei diesen Erscheinungen in der That um eine Wärmewirkung handelt. Dass zunächst alle andern Fehlerquellen, wie die Wirkung der Schwerkraft, des Tropfenrandes etc. ausgeschaltet waren, bedarf nicht erst der Erwähnung. Indessen bleibt noch eine Möglichkeit offen, die allerdings sehr gross erscheint, nämlich, dass man es dabei mit einer Wirkung des Lichts zu thun hat.

Zunächst musste jedoch die Wahrscheinlichkeit, dass eine Wärmewirkung vorliegt, schon dadurch sehr gross werden, dass eine thermometrische Messung, die mit einem sehr kleinen Thermometer ausgeführt wurde, das vorher genau geprüft worden war, folgende Werthe ergab. In dem Tropfen direct über dem Ausschnitt zeigte das Thermometer bei maximaler Beleuchtung 40—50° C., während über dem schwarzen Papier in dem Tropfen 15—20° weniger gemessen wurden. Wurden die Amoeben dem concentrirten Sonnenlicht ausgesetzt, ohne dass sie mit einem Theile des Körpers im Dunkeln lagen, also ohne dass ihnen die Möglichkeit gegeben war, dem Sonnenlicht zu entfliehen, so zogen sie sich nach kurzer Zeit zur Kugel zusammen, indem sie häufig unter plötzlicher Contraction einen Theil ihres körnigen Körperinhalts ausstiessen, und verfielen im übrigen vollkommen in Starre, im wesentlichen unter den Erscheinungen, welche KÜHNE (l. c.) beschreibt. Die Starre war noch zu lösen, wenn sie sofort nach Beginn derselben wieder ins Dunkle gebracht resp. also abgekühlt wurden. Die Amoeben waren dagegen todt nach längerer Dauer der Einwirkung.

Die eben gemachten Angaben lassen schon von vornherein die Annahme wahrscheinlich werden, dass es sich um eine Wärmewirkung handelt. Ganz sicher wird dieselbe jedoch erst durch folgenden Versuch bewiesen. Einerseits wurde in einer Versuchsreihe die Wärmewirkung des Lichts dadurch möglichst ausgeschlossen, dass eine Eisschicht von 2—3 cm Dicke zwischen Spiegel und Objecttisch eingeschaltet wurde, wobei die Temperatur im beleuchteten Felde nur 20—25° C. betrug. Trotz der hohen Lichtintensität blieb die Reaction der Amoeben hierbei aus. Sie krochen unbehindert über die Grenze von Dunkel zu Hell, wie dies schon früher bei Gelegenheit der Lichtreizversuche angegeben worden ist. Wurde aber andrerseits eine Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff, die bekanntlich nur die ultrarothen Strahlen durchlässt, welche das Maximum der Wärmewirkung repräsentiren, zwischen Spiegel und Object eingeschaltet, und zwar von einer Concentration, bei der keine sichtbaren Lichtstrahlen mehr durchgingen, so trat die bekannte Reaction ein, wenn die Concentration so gewählt war, dass eine thermometrische Messung im Tropfen eine Temperatur von mehr als 35° C. ergab, sie blieb dagegen aus bei einer stärkeren Concentration der Lösung, wenn weniger als 30° C. im Tropfen gemessen wurden.

Dass die richtende Wirkung von der Wärme herrührt, ist also unbestreitbar, und ich möchte daher die betreffende Fähigkeit der Amoeben als Thermotropismus bezeichnen, analog dem Heliotropismus bei anderen Organismen. Der Thermotropismus der Amoeben ist ein negativer, im Gegensatz zu dem Thermotropismus der Myxomyceten, den man als positiv bezeichnen kann. Einen positiven Thermotropismus bei niedrigeren Temperaturen habe ich an Amoeba nicht constatiren können. Gegen niedrigere Temperaturen verhielten sich die Amoeben vielmehr ganz indifferent.

Nach derselben Methode wie Amoeba limax wurde noch eine beschalte Rhizopodenform Echinopyxis aculeata untersucht und in gleicher Weise negativ thermotropisch gefunden. Dagegen gelang es nicht, bei Actinosphaerium Eichhornii Thermotropismus nachzuweisen. An diesen Rhizopoden konnten als die Wirkungen der strahlenden Wärme nur alle jene Erscheinungen bestätigt werden, welche KÜHNE schon als Wirkungen der zugeleiteten Wärme an ihnen genau beobachtet und beschrieben hat.

Das Verschwinden der Radiolarien im Sommer aus bestimmten Gegenden, z. B. aus dem Golf von Neapel, welches man möglichenfalls als einen negativen Thermotropismus hätte auffassen können, ist von K. BRANDT[55]) auf andere Ursachen zurückgeführt worden. Derselbe Forscher stellte zugleich experimentell fest, dass die von ihm beobachteten Radiolarien (Collozoum inerme) erst bei 30° C. zu Boden sinken, bei einer Temperatur, die nach sorgfältigen Messungen im Golf von Neapel niemals erreicht wird.

2. Flagellaten.

Auch für Flagellaten und Schwärmer von Algen sind einige Angaben über die untere und obere Temperaturgrenze gemacht worden, bei der die Bewegungen aufhörten. So fand MAX SCHULTZE[56]) Bodo noch bei 44° C. lebendig, und STRASBURGER[57]) sah Botrydiumschwärmer ihre Bewegungen einstellen, sobald die Temperatur bis auf 6° C. gesunken war, dagegen wieder aufnehmen, wenn dieselbe stieg.

Es ist überflüssig, noch weitere Beispiele anzuführen, da, wie gesagt, für jede Form eine obere und eine untere Grenze existirt, bei der die Bewegung erlischt, nur sind diese Grenzen für verschiedene Formen sehr verschieden. Interessant ist aber der Einfluss der Wärme auf die Lichtreactionsfähigkeit der Schwärmsporen, welcher von STRASBURGER entdeckt wurde. Er beobachtete nämlich eine Gesetzmässigkeit dieser Wirkung in der Weise, „dass Erhöhung der Temperatur bis auf ein gewisses Maass sie (die Schwärmer) auf höhere, Erniedrigung der Temperatur bis auf ein bestimmtes Maass sie auf niedrigere Lichtintensitäten stimmt", eine Erscheinung, die vielleicht einmal im Zusammenhang mit weiteren Thatsachen für eine Erklärung der Wirkungsweise des Lichts von Bedeutung werden kann.

3. Ciliaten.

Der Einfluss der Temperatur auf die Flimmerbewegung ist schon durch eine Anzahl von Untersuchungen an Flimmer-

---

[55]) K. Brandt: „Die coloniebildenden Radiolarien des Golfs von Neapel und der umliegenden Meeresabschnitte". Berlin 1885.

[56]) Max Schultze: „Das Protoplasma der Rhizopoden und der Pflanzenzellen". Leipzig 1863.

[57]) Strasburger: „Wirkung des Lichts und der Wärme auf Schwärmsporen". In Jen. Zeitschr. f. Naturw. Bd. 12.

epithelien bekannt geworden. Zuletzt hat besonders ENGELMANN[58]) genauere Angaben darüber gemacht. Nach seinen Beobachtungen giebt es innerhalb der oberen und unteren Temperaturgrenze (Maximum und Minimum), zwischen denen überhaupt Bewegung vorhanden ist, ein meist einige Grade unterhalb des Maximum gelegenes Temperatur-Optimum, bei dem die Flimmerbewegung dauernd eine sehr grosse Geschwindigkeit hat. Wird das Optimum überschritten, so wird zunächst die Frequenz der Schwingungen noch etwas grösser, während die Amplitude geringer wird, bis schliesslich beim Maximum Wärmestarre eintritt, die durch sofortige Abkühlung wieder gelöst werden kann, bei längerer Einwirkung der Wärme jedoch in Tod übergeht. Unterhalb des Minimum tritt Kältestarre ein, die, wenn die Abkühlung nicht bis über eine gewisse Grenze hinaus (Ultraminimum) erfolgte, durch Erwärmung ebenfalls wieder aufgehoben werden kann.

Es zeigen sich also hier ganz gleiche Erscheinungen, wie bei der Bewegung der Rhizopoden, etwa der Amoeben.

Die Gültigkeit dieser an Gewebsflimmerzellen aufgefundenen Gesetze wurde schon durch die von ROSSBACH[59]) an Stylonychia pustulata, Euplotes charon und Chilodon cucullulus gemachten Beobachtungen bestätigt. ROSSBACH constatirte nämlich, dass von 15° C. an abnehmende Temperatur die Bewegungen verlangsamte, von 15° C. steigende sie beschleunigte und zwar in der Weise, dass bei 25° C. plötzlich die Infusorien „pfeilschnell hin und her zu schiessen“ beginnen, jedoch noch in den normalen Bewegungsformen, während die Bewegungen von 30—35° rasend werden, wobei die Infusorien das Steuerungsvermögen verlieren und unter Rotation um ihre Längsaxe vorwärts schiessen („vorwärts schreitende Drehbewegungen“).

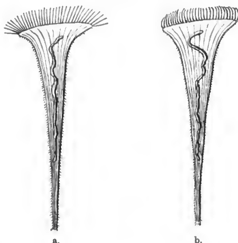
Ich selbst bediente mich zur Untersuchung des Stentor coerulens, St. Roeselii und Vorticella patellina, da diese Formen sich in Folge ihrer festsitzenden Lebensweise für die Beobachtung der Flimmerbewegung mehr eigneten als frei schwimmende Ciliaten. Die Versuche wurden auf dem MAX SCHULTZEschen heizbaren Objecttisch gemacht, nachdem für

[58]) Engelmann: „Ueber die Flimmerbewegung“. In Jen. Zeitschr. f. Naturw. IV, 1868.

[59]) Rossbach: „Die rhythmischen Bewegungserscheinungen der einfachsten Organismen und ihr Verhalten gegen physikalische Agentien und Arzneimittel 1871“. In Arbeiten a. d. zool.-zoot. Inst. z. Würzburg 1874.

jede Einstellung der Flammen die Werthe des am Objecttisch befestigten Thermometers vorher durch möglichst genaue thermometrische Messungen der Temperatur im Tropfen auf dem Objectträger in entsprechender Weise corrigirt waren. Bei langsamer Erwärmung konnte nun bei Stentor eine schwache Beschleunigung des vorher schon ziemlich schnellen Schlages der Peristomwimpern wahrgenommen werden bis zu etwa 32 bis 34° C. Von dieser Temperatur an begann der Wimperschlag in auffallender Weise langsamer zu werden und es stellten sich Unregelmässigkeiten ein, indem manche Wimpern anders schlugen als die benachbarten. Dabei war die Amplitude sehr klein geworden und die Wimpern in der oberen Hälfte stark nach vorwärts gekrümmt (Fig. 8). Bei ca. 40° oder etwas darüber waren

Fig. 8.



Stentor Roeselii. a. normal, b. auf 35° C. erwärmt.

die Wimpern in dieser Stellung vollständig bewegungslos geworden, es war Wärmestarre eingetreten. Wenn jetzt der Objectträger sofort abgekühlt wurde, so erholten sich die Stentoren allmählig wieder, während sie bei längerer Einwirkung oder Steigerung der Temperatur starben, indem der Körper nach und nach körnig zerfiel. Ganz gleiche Erscheinungen beobachtete ich an Vorticella, für die jedoch alle Werthe um

ungefähr 2° höher lagen, so dass, wenn Stentor und Vorticella in demselben Tropfen zur Untersuchung kamen, bei Vorticella die Bewegung noch nicht erloschen war, wenn Stentor eben in Starre verfiel.

Bei den eben beschriebenen Versuchen ergab sich gleichzeitig noch eine andere Wirkung der Wärme. Hatte nämlich die Temperatur 35° C. überschritten, so erfolgte plötzlich an dem vorher ganz ruhig ausgestreckten Stentor eine Contraction der Myoïde, und das Protist schnellte zu einer Kugel zusammen, die sich nach kurzer Zeit ein wenig in die Länge streckte. Diese Reaction der Myoïde trat regelmässig ein; nur wenn die Erwärmung sehr langsam stattfand, blieb sie bisweilen aus, und das Protist verkürzte sich alsdann sehr langsam und nur um einen kleinen Theil. In beiden Fällen verfielen aber die Stentoren in der betreffenden Stellung bei steigender Temperatur in Wärmestarre.

Um nach Erreichung eines bestimmten Temperaturgrades ein möglichst schnelles Sinken der Temperatur zu erzielen, wie es mir für die folgende Versuchsreihe wünschenswerth war, bediente ich mich wieder mit Vortheil der strahlenden Sonnenwärme, nachdem schon früher nachgewiesen wurde, dass das Licht ohne Einfluss auf die Versuchsobjecte ist. Die Stentoren kamen wieder auf einem dünnen Deckglas im Tropfen zur Untersuchung, und der Spiegel des Mikroskops war nach Einstellung für maximale Beleuchtung mit schwarzem Papier bedeckt. Waren nun die Stentoren in Ruhe im Gesichtsfeld ausgestreckt, so wurde das Papier plötzlich weggezogen und der Erfolg durch Rauchgläser beobachtet. Nach mehreren Secunden war der betreffende Temperaturgrad erreicht und die Stentoren zuckten zur Kugel zusammen. In demselben Augenblick wurde der Spiegel wieder verdunkelt und die Beobachtung bei auffallendem Lichte fortgesetzt. Dabei zeigte sich folgende, bei allen Versuchen in gleicher Weise eintretende Erscheinung. Einige Secunden nach der Contraction machte die Kugel Anstalt sich wieder zu strecken, zuckte jedoch sofort wieder zusammen. Darauf folgte ein neuer Versuch mit demselben Erfolg. Diese Versuche wurden nun in einem fort wiederholt, und zwar streckte sich jedesmal der Körper um eine Idee weiter aus, worauf dann jedesmal wieder eine neue Contraction erfolgte. Schliesslich nach einer grossen Zahl von immer erfolgreicheren Versuchen war der Stentor wieder ganz ausgestreckt, zuckte aber

auch jetzt noch aus dieser Stellung mehrere Male in grösser werdenden Zwischenräumen zur Kugel zusammen, bis er schliesslich vollständig ausgestreckt blieh und sich wieder ganz normal verhielt. Es handelt sich offenhar hei dieser Erscheinung um eine Nachwirkung, nnter deren Einfluss der Stentor noch längere Zeit steht, nachdem die Temperatur schon wieder hedeutend gefallen ist. Bei Vorticellen zeigte sich übrigens ehen diese Erscheinung in derselhen augenfälligen Weise als Nachzuckung des Stielmyoïds.

Bei geeigneter Stellung des Spiegels und eventueller Einschaltung von Rauchgläsern zwischen diesen und das Object kann man durch Anwendung von strahlender Sonnenwärme im Versnchstropfen auch eine dauernde Temperatur von hestimmter Höhe herstellen, die natürlich für jeden Versuch vorher thermometrisch anszuprohen ist. Machte ich nun die Einstellung etwa für 37° C., so dass also hei beliebig langer Zeit der Einwirkung die Temperatur nicht mehr stieg, und schob dann die Stentoren in das Gesichtsfeld, so erfolgte nach einiger Zeit die Contraction. Die Protisten hlieben mehrere Secunden contrahirt, dann aher hegannen sich die ehen bei der Nachwirkung der Wärme heschriehenen Erscheinungen geltend zu machen, der Stentor streckte sich nach einiger Zeit wieder ganz aus und verhlieh in dieser Stellung, indem er sich durchaus normal verhielt, als oh er gar nicht erwärmt worden wäre. Eine Beschattung und darauf folgende Wiederhelichtung des Spiegels hatten jetzt keine Wirkung auf die Stentoren mehr; sie reagirten bei dieser Temperatur nicht wieder, sondern hlieben ausgestreckt. Steigerte ich aber die Temperatur nur um eine ganz geringe Grösse, so trat sofort wieder die Reaction ein. Allerdings war die Contraction ehenfalls nicht von langer Dauer, da sich die Protisten wiederum bald unter denselben Erscheinungen zu strecken hegannen und schliesslich gestreckt blieben, bis sie durch eine abermalige Steigerung der Temperatur zu einer neuen Contraction veranlasst wurden. Es wirkte also in diesem Falle nur die positive Temperaturschwankung als Reiz. Bei negativen Schwankungen hahe ich nie einen Reizerfolg hemerken können.

Man darf in diesem Verhalten der Stentoren wohl eine jedesmalige Anpassung oder Gewöhnung an die Temperatnr erblicken, die sich allerdings in einer Kürze der Zeit vollzieht, die im höchsten Grade interessant ist.

Wie gross übrigens die Fähigkeit mancher Protisten ist,

sich hohen Temperatnren anznpassen, zeigt anch eine Beobachtung EHRENBERGS [60]), der in den heissen Quellen auf Ischia hei einer Temperatur von 81—85 ° C. zwischen Filzen von Oscillarien Ciliate Infusorien wie Nassula, Enchelys und Amphileptus lebend antraf. Es ist an der Richtigkeit dieser Angahe wohl um so weniger zu zweifeln, als ja hekannt ist, dass die endogenen Sporen mancher Bacterien, wie z. B. von Bacillus subtilis, noch bei längerer Erhitzung bis auf üher 100° keimfähig hleiben.

Eine der Contraction der Myoïde bei Stentor ähnliche plötzliche Reaction der Sprungwimpern findet sich als Wärmewirkung hei Pleuronema chrysalis, Mesodinium pulex und anderen springenden Ciliaten. Wird nämlich, wenn diese Ciliaten normaler Weise ganz still liegen und ihre Sprungwimpern nicht hewegen, plötzlich der Spiegel auf maximale Beleuchtung eingestellt, so dauert es nur wenige Secunden und es tritt eine plötzliche Sprungbewegung ein, die das Protist eine ganze Strecke weit fortführt. Diese Reaction wiederholt sich so lange, his das Protist sich ausserhalh der Wärmesphäre befindet.

Schliesslich sei noch der Beohachtungen Erwähnung gethan, welche ROSSBACH (l. c.) bei den ohen angeführten Versuchen an Stylonychia pustulata, Euplotes charon nnd Chilodon cucnllulus über den Einfluss der Temperatur auf die Thätigkeit der pulsirenden Vacuolen machte. Er hemerkte nämlich, dass der Rhythmus der Pulsation unter 15° C. immer langsamer, üher 15°—30° C. dagegen etwas schneller wird und von 30° C an keine Beschleunigung mehr erfährt, bis die Ciliaten hei 42° sterhen.

Versuche üher eine richtende Wirkung der Wärme, welche an freischwimmenden Stentoren und Opalina in derselhen Weise wie an Amoehen angestellt wurden, hatten nnr ein negatives Resultat. Die Protisten schwammen ohne Zögern üher die Grenze nach der einen sowohl als nach der andern Richtung. Immerhin ist trotzdem den Ciliaten die Möglichkeit gegehen, sich vor den schädlichen Folgen der Wärme zn schützen, dadnrch, dass die steigende Temperatur ihre Wimperbewegung beschleunigt und somit die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass sie zufällig dem Bereich der Wärmewirkung entkommen. Auch den Stentoren

[60]) Ehrenberg in Monatsber. d. Akad. d. Wiss. z. Berlin 1859 p. 493.

fehlt diese Möglichkeit nicbt, indem sie sich oft bei steigender Temperatur durch die Contraction der Myoïde von ihrer Anheftungsstelle losreissen, was übrigens die Untersuchung häufig bedeutend erschwert. Schliesslich liegt auch ein Scbutz für die Stentoren in ihrer Fähigkeit, sich sehr scbnell verschiedenen Temperaturen anzupassen, ein Vortheil, der gewiss nicbt unterschätzt werden darf.

Es würde in Hinsicht auf den Zweck dieser Arbeit zu weit führen, noch die Wirkung der Wärme bei anderen Protistenklassen zu untersuchen, besonders da vorauszuseben ist, dass sich wesentlich neue Thatsachen wohl nicht ergeben würden.

Wenn wir zum Schluss noch einmal die Wirkungsweisen der Wärme auf die Bewegungen der Protisten zusammenfassen, so ergeben sich also folgende Erscheinungen.

Bewegungen sind überhaupt möglich nur innerhalb gewisser Temperaturgrenzen, einer oberen und einer unteren, die für jede Protistenform verscbieden sein können. Zwischen diesen Grenzen, dem Maximum und dem Minimnm, nimmt die Bewegung der Rbizopoden sowobl als der Flagellaten und Ciliaten, d. h. die Protoplasmabewegung sowobl als die Flimmerbewegung mit steigender Temperatur zu bis zu einem bestimmten Punkte, dem Optimum, von wo an sie bis zum Maximum, bis zur Wärmestarre wieder abnimmt; mit sinkender Temperatur vom Optimum an verlangsamt sich dagegen die Bewegung bis zum Minimum, wo Kältestarre eintritt. Ganz analog ist die Wirkung der Wärme auf die Bewegung pulsirender Vacuolen. Ueberschreitung des Maximums oder Minimums führt den Tod herbei.

Submaximale Temperaturen bewirken bei Rhizopoden Annabme mehr oder weniger vollkommener Kugelform, bei Ciliaten plötzliche Contractionen der Myoïde, Sprungwimpern etc. Dabei machen sicb bei Ciliaten Nacbwirkungen bemerkbar, sowie eine hochgradige Anpassungsfähigkeit an höhere Temperaturen.

Tbermotropismus, d. b. die Fähigkeit, die Bewegungsrichtung nacb einseitiger Einwirkung von Wärmereizen zu bestimmen, kommt bei Rhizopoden vor, und zwar hat sich sowobl positiver als negativer Thermotropismus herausgestellt, analog dem positiven und negativen Heliotropismus der Protisten.

C. Bewegungen auf mechanische Reize.

Jedes Protoplasma ist in irgend einer Weise mechanisch reizbar. Ueber die Wirkung mechanischer Reize auf Protisten sind auch schon verschiedentliche Bemerkungen in der Litteratur zerstreut. So sah bereits RÖSEL[61]) und nach ihm verschiedene neuere Beobachter Amoeben beim Berühren resp. Schütteln kuglig werden, DE BARY[62]) die Strömung in Myxomyceten auf Erschütterungen still stehen, HAECKEL[63]) Moneren und Radiolarien bei Berührnngen und Erschütterungen je nach deren Stärke ihre Pseudopodien theilweise oder ganz einziehen und ENGELMANN[64]) Diatomeen und Oscillarien auf Erschütterungen ihre Bewegungen einstellen. Jedenfalls sind ausser diesen noch mehr Angaben über die an vielen Protisten leicht jeden Augenblick zu beobachtenden Wirkungen mechanischer Insulte hier und dort zu finden, doch fehlt bisher vollständig eine genauere Untersuchung und eine zusammenfassende Darstellung dieser Erscheinungen.

1. Rhizopoden.

Man kann in verschiedener Weise mechanisch auf Protisten einwirken, je nachdem man den Reiz auf den ganzen Körper oder auf einen einzelnen Theil, einmalig oder in häufigerer Wiederholung anwendet. Als Mittel den ganzen Körper zu reizen soll die Erschütterung dienen.

Eine einmalige Erschütterung erreicht man am besten, indem man das Object im Wassertropfen auf ein Glasplättchen oder in ein Schälchen bringt und letzteres dann durch einen Stoss, den man in verschiedener Weise anbringen und abstufen kann, im Ganzen erschüttert. Man kann das leicht unter dem Mikroskop ausführen, um sofort den Erfolg beobachten zu können.

Ist die einmalige Erschütterung eine schwache, so beobachtet man bei einigen Formen, z. B. Amoeba princeps, A. limax,

---

[61]) Rösel: „Der monatlich herausgegebenen Insectenbelustigungen 3. Theil". Nürnberg 1755, Seite 621.

[62]) De Bary: „Die Mycetozoen". 2. Aufl. Seite 49.

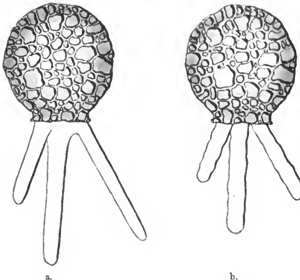
[63]) Haeckel: „Studien über Moneren und andere Protisten". In Biologische Studien Heft I, Leipzig 1870.

Haeckel: „Die Radiolarien. Eine Monographie". Berlin 1862.

[64]) Engelmann: „Physiologie der Protoplasma- und Flimmerbewegung". In Hermanns Handbuch der Physiologie Bd. I.

Actinophrys sol, Actinosphaerium Eichhornii, in der Regel überhaupt keinen Reizerfolg, während sich bei anderen schon ein solcher bemerkbar macht. So reagirt z. B. Difflugia urceolata, die sich überhaupt durch eine stärkere Reizbarkeit auszeichnet, schon bei ganz schwachen Reizen damit, dass sie das Vorwärtsfliessen der Pseudopodien sistirt und dieselben ein kurzes Stück zurückzieht, wobei sie etwas dicker werden und an ihrer Oberfläche ein schwach welliges Aussehen annehmen (Fig. 9). Die Reaction erfolgt langsam und an der homogenen

Fig. 9.



Difflugia urceolata.
a. ungereizt, b. nach schwacher Erschütterung.

Beschaffenheit des Pseudopodien-Protoplasmas ist keine Veränderung zu bemerken. Nach mehreren Secunden beginnt dann, ohne dass es zu einer weiteren Retraction gekommen wäre, das Protoplasma der Pseudopodien wieder vorwärts zu fliessen und die Oberfläche desselben wird wieder vollständig glatt.

Bei einer starken Erschütterung ist auch an Amoeba und

Actinosphaerium*) bereits eine Wirkung bemerkbar, indem nämlich die amoeboïde Bewegung resp. die Bewegung des Protoplasmas auf den Axenfäden von Actinosphaerium momentan still steht, worauf eventuell noch eine theilweise Retraction der Pseudopodien erfolgen kann, was bei sehr starker Erschütterung die Regel ist. Ein vollständiges Kugligwerden habe ich jedoch selbst bei sehr starken einmaligen Erschütterungen an Amoeba nicht beobachtet. Pelomyxa palustris reagirt in derselben Weise, nur etwas vollkommener, indem sie bei starken Erschütterungen in der That Kugelgestalt annimmt, ein Vorgang, zu dem sie aber verhältnissmässig sehr lange Zeit braucht. Viel schneller verläuft das Einziehen der Pseudopodien bei Lieberkühnia Wagneri, welche oft wunderbar schöne Protoplasmanetze mit Körnchenströmung aus ihrem Körper entsendet. Wenn diese freien Pseudopodien auch bis zu sehr bedeutender Länge ausgestreckt sind, bei starken Erschütterungen werden sie in wenigen Secunden fast vollständig in den Körper eingezogen, häufig mit einem solchen Ruck, dass die Enden, welche an dem Objectträger kleben, abreissen. Interessant ist bei stärkerer Erschütterung das Verhalten von Difflugia urceolata, das übrigens auch bei anderen Difflugien verbreitet zu sein scheint. Je nach der Stärke des Stosses werden die Pseudopodien entweder langsam oder (bei sehr starker Erschütterung) fast plötzlich zurückgezogen, wobei folgende bemerkenswerthe Veränderungen an den Pseudopodien auftreten, die besonders bei mässig schneller Retraction derselben gut in ihren einzelnen Momenten zu beobachten sind (Tafel III, Fig. 10a). Sofort nach der Erschütterung beginnen auf den langen fingerförmigen Pseudopodien im ganzen Verlauf ihrer vorher glatten Oberfläche viele kleine warzenförmige Erhebungen hervorzuquellen (Taf. III, Fig. 10b), welche immer grösser und grösser werden, dabei Tropfenform annehmen und mit den benachbarten zu Perlen und Kugeln von verschiedener Grösse verschmelzen (Taf. III, Fig. 10c). Durch den weiter um sich greifenden Verschmelzungsvorgang entsteht um das in Folge des Auspressens der Tropfen immer dünner werdende Pseudopodium, welches an seinem stärkeren Lichtbrechungsvermögen in der Mitte deutlich als Axenstrang zu erkennen ist,

*) Eine genauere Beschreibung des Baus von Actinosphaerium findet man bei Max Schultze: „Das Protoplasma der Rhizopoden und Pflanzenzellen". Leipzig 1863.

ein continuirlicher Ueberzug, dessen Oberfläche lauter grosse und kleine halbkugelförmige Erhebungen zeigt (Taf. III, Fig. 10 d und e). Dabei zieht sich das ganze Pseudopodium nach und nach immer mehr und mehr in das Gehäuse zurück. Während dieses Retractionsvorganges aber schreitet auch die Veränderung auf der Oberfläche ununterbrochen fort. Die vorher glatt contourirten halbkugligen Erhebungen werden allmählig an ihrer Oberfläche rauh und lassen bald einen ganz unebenen und unregelmässig granulirten Saum erkennen (Taf. III, Fig. 10d, e). Ist die Retraction nun bis zu einem gewissen Grade gediehen, so beginnt sich der Axenstrang, welcher noch immer zu erkennen ist, etwas schneller zurückzuziehen als die Aussenmasse. Letztere wird gewissermassen zurückgestreift (Taf. III, Fig. 10f), zieht sich aber etwas später ebenfalls in den Weichkörper ein und lässt nur den rauhen granulirten Saum zurück, welcher dann dem Weichkörper aufliegt (Taf. III, Fig. 10g) und ihm eine unregelmässige Oberfläche verleiht. Wenn später das Protist wieder beginnt Pseudopodien auszustrecken, sieht man ihn häufig als körnigschleimige Masse an irgend einer Stelle hängen, wo er vermuthlich nach und nach abgestreift wird. Der ganze Vorgang hat die Dauer weniger Secunden und tritt sogar bei starker Erschütterung so plötzlich ein, dass man seine Einzelheiten gar nicht verfolgen kann. Es sei schliesslich noch bemerkt, dass in der Aussenmasse, welche durch die Contraction des Protoplasmas um das Pseudopodium als Axenstrang gebildet wird, ein klebriger Stoff enthalten ist, der bei gewissen Lebensthätigkeiten dieser Protisten, wie später gezeigt werden wird, eine wichtige Rolle spielt. Ein ganz ähnliches Entstehen eines medialen Axenfadens und einer Aussenschicht, d. h. also eine Scheidung zweier verschiedener Substanzen im Augenblick der Reizung glaubte übrigens auch MAX SCHULTZE[65]) bei Anwendung von Reagentien an den Pseudopodien von Miliola bemerkt zu haben.

Die Wirkung, welche bei einmaliger Erschütterung an manchen Formen nur sehr gering oder überhaupt gar nicht wahrnehmbar ist, wird bei Anwendung häufig wiederholter Erschütterungen durch Summirung der Reizerfolge sehr deutlich. War z. B. die Contraction nur unvollkommen, so be-

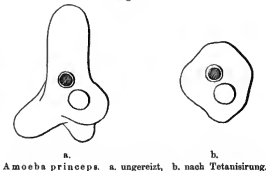
---

[65]) Max Schultze: „Das Protoplasma der Rhizopoden und der Pflanzenzellen“. Leipzig 1863.

wirkt, ehe die völlige Ausstreckung wieder eintreten kann, der nächste Reiz wiederum eine Contraction von der gleichen Grösse, welche sich zn der vorigen addirt u. s. f. Durch lang andauernde Einwirkung von immer sich wiederholenden Erschütterungsstössen ist es daher möglich, einen mechanischen Tetanus zn erzeugen. Ich bediente mich zu diesem Zweck eines mechanischen Tetanomotors ganz einfacher Art. Derselbe bestand aus einem breiten Zahnrad von 4 cm Durchmesser mit schaufelförmigen Zähnen, die etwa 1 cm Abstand von einander hatten. Dieses Zahnrad war auf einem in verticaler Richtung ausziehbaren Stativ angebracht, und über seine Axe konnte der Treibriemen irgend eines Motors, dessen Geschwindigkeit abstufbar war, geleitet werden. Auch war eine Kurbel angebracht, um das Rad ev. mit der Hand drehen zu können. Der Apparat wurde zu den Versuchen dicht neben dem Objecttisch des Mikroskops in der Weise befestigt, dass wenn er in Thätigkeit gesetzt wurde, die Zähne des Rades die eine Seite des Objectträgers, welcher die Versuchsobjecte trug, abwechselnd hochhoben und fallen liessen. Die andere Seite des Objectträgers war dabei durch eine federnde Klemme am Objecttisch des Mikroskops befestigt, so dass der Objectträger sich nicht verschieben konnte. Diese Anordnung gestattete, ohne eine grosse Pause in den Erschütterungen eintreten zu lassen, eine sofortige Beobachtung des Reizerfolges durch das Mikroskop.

Es zeigte sich bei diesen Versuchen, dass Amoeba princeps bei ca. 15—20 Stössen in der Secunde nach 1—2 Minuten alle Pseudopodien eingezogen und fast vollkommene Kugelgestalt angenommen hatte (Fig. 10). Ebenso verhielt sich Actino-

Fig. 10.



Amoeba princeps. a. ungereizt, b. nach Tetanisirung.

sphaerium nach etwas längerer Dauer der Einwirkung. Die Pseudopodien werden hier ganz allmählig eingezogen, und zwar unter folgenden Erscheinungen, die überhaupt jede Retraction auf irgend welche Reize bei diesem Rhizopoden charakterisiren (Taf. II, Fig. 7—9). Das Protoplasma, das im normalen Zustande den Axenfaden glatt und gleichmässig überzieht (Taf. II, Fig. 7 und 9a), beginnt zunächst sich in kleinen Knötchen anzuhäufen (Taf. II, Fig. 8 und 9b), die untereinander nur durch ganz dünne Fäden im Zusammenhang stehen, oder bisweilen sogar ganz von einander getrennt sind, so dass der Axenfaden an diesen Stellen völlig nackt erscheint. Diese Knötchen (Kugeln und Spindeln) rutschen nun in centripetaler Richtung auf dem Axenfaden entlang, bis sie sich allmählig zu einem kleinen Höcker auf der Körperoberfläche vereinigt haben, der dann nach und nach ganz in das Protoplasma der Rindenschicht eingezogen wird. Der Axenfaden selbst zieht sich ebenfalls während dieses Zurückströmens des Protoplasmas langsam in den Körper ein, doch gewöhnlich nicht mit gleicher Geschwindigkeit, so dass häufig der Axenfaden noch weit aus dem Körper herausragt, wenn er schon völlig vom Protoplasma entblösst ist, oder dass umgekehrt der Axenfaden schon in den Körper eingezogen ist, wenn das Protoplasma sich noch zum Theil aussen befindet. Im letzteren Fall, also wenn der Axenfaden sich schneller zurückzieht, wird das Protoplasma des Pseudopodiums förmlich abgestreift und hängt nun ohne Halt schlaff und gekrümmt ins Wasser, bis es schliesslich ebenfalls ganz in den Körper eingezogen ist. Zuletzt sind alle Pseudopodien eingezogen, das Protist befindet sich im Tetanus. Löst sich nach einiger Zeit der Ruhe die Starre, so sieht man ganz feine Spitzchen aus der Körperoberfläche heraustreten, die allmählig länger und länger werden, sich mit Protoplasma überziehen, das centrifugal auf ihnen hinfliesst, und so neue Pseudopodien bilden, die nach und nach die normale Länge erreichen. Die reizbareren Formen wie Pelomyxa, Difflugia, Lieberkühnia verfallen natürlich viel schneller in mechanischen Tetanus.

Der mechanische Reiz eignet sich ferner, wie kein anderer dazu, um lokale Wirkungen zu erzielen, was für die Erforschung des Verhältnisses von Reizintensität zum Reizerfolg, zur Reizleitung etc. von der grössten Wichtigkeit ist. Weder Licht noch Wärme, noch chemische, noch galvanische Reize lassen sich bei so kleinen Organismen wie den Protisten so gut lokalisiren wie

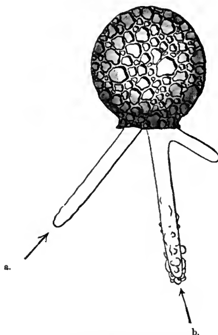
mechanische Reize. Man kann die Reizung mit einer feinen Nadel sehr leicbt unter dem Mikroskop vornehmen und zugleich den Reizerfolg beobachten. Abstufen lässt sich der Reiz, indem man entweder nur leise berübrt oder stärker drückt oder endlich sticht. Schwache Reize üben auch die gegen das Versuchsobject etwa anschwimmenden Organismen wie Infusorien, Rotatorien, Copepoden etc. aus, und man bat öfter Gelegenheit, die Wirkung davon zu beobachten.

An den minder reizbaren Rhizopoden, z. B. den Amoeben, bemerkt man bei so schwachen Reizen, wie sie das Gegenschwimmen von kleinen Organismen verursacht, in der Regel überhaupt keine Wirkung. Dagegen ist eine solche bereits wahrnehmbar bei Actinosphaerium Eichhornii. Ganz schwache Berübrungen sind allerdings auch hier noch ohne Wirksamkeit; so habe ich z. B. öfter Euplotes und Uronychia auf den lang ausgestreckten Pseudopodien ungehindert umherlaufen seben, ohne dass darauf eine Reaction eintrat. Doch erfolgt dieselbe sofort, wenn ein Infusor oder Rotator mit etwas stärkerer Gewalt gegen ein Psendopodium anschwimmt. Dann wird das Pseudopodium in demselben Augenblick an der getroffenen Stelle klebrig, hält das Infusor oder Rotator dadurcb fest nnd es beginnt, falls das Infusor sicb nicht wieder losreisst, also falls der Reiz andauert, an dem betreffenden Pseudopodium die typische Retractionserscheinnng: allmäbliges Variköswerden und Rückwärtsfliessen des Protoplasmas und in der Regel Einziehung des ganzen Pseudopodiums. Die benachbarten Pseudopodien werden dadurch gar nicht miterregt. Dass übrigens das Pseudopodium erst im Moment der Reizung klebrig wird, geht daraus hervor, dass vorher, wie schon bemerkt, hypotriche Infusorien ohne kleben zu bleiben auf den Pseudopodien entlang laufen können. Dieses Klebrigwerden der Pseudopodien anf Reizung ist also ganz analog der Erscheinung an den Pseudopodien von Difflugia urceolata, und ist unter den Rhizopoden überhaupt sehr weit verbreitet, unter anderen z. B. auch bei den Foraminiferen. Einen etwa gleichstarken Reiz wie das Anscbwimmen von kleinen Organismen kann man ancb künstlich leicht erzeugen durch Berühren der Pseudopodien mit einer feinen Faser von Tucb oder Fliesspapier. Wenn man dieselbe dann durch Blasen auf den Tropfen oder durch Berübren mit einer Nadel in Bewegung erhält, treten an den getroffenen Pseudopodien genau die gleichen Erscheinungen auf, als wenn ein Infusorium

dagegengeschwommen wäre. Die Faser wird festgehalten und schliesslich mit einem Ende in das Protoplasma eingezogen. Selbst stärkere Reizung eines einzelnen Pseudopodiums bringt bei Actinosphaerium nie allgemeine Contractionserscheinungen hervor, höchstens bemerkt man an den allernächst stehenden Pseudopodien undeutliches Variköswerden.

Ganz ähnlich zeigen sich die Verhältnisse bei lokaler Reizung an Polystomella crispa. Auch hier wird ein einzelnes, mit der Nadel gereiztes Pseudopodium bei längerer Einwirkung des Reizes schliesslich ganz eingezogen, ohne dass die benachbarten in bemerkenswerther Weise in Mitleidenschaft geriethen, ja man kann sogar ein einzelnes Pseudopodium oder ein kleines Pseudopodienbündel vorsichtig abreissen oder abschneiden, ohne dass die übrigen Pseudopodien infolgedessen irgend welche Veränderung ihres normalen Verhaltens zeigten, vorausgesetzt dass sie selbst dabei nicht berührt werden. Es besitzt also das Protoplasma von Polystomella ein verhältnissmässig wenig entwickeltes Reizleitungsvermögen.

Fig. 11.

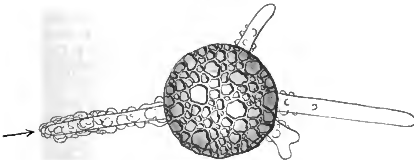


Difflugia urceolata.
Bei a. schwach lokal gereizt,
bei b. etwas stärker lokal gereizt.

Ausgeprägter ist dasselbe bei Difflugia urceolata und anderen Difflugienformen. Berührt man eine Difflugia, die ihre Pseudopodien weit ausgestreckt hat, mit einer Stahlnadel an der Spitze eines derselben, so kann man auch hier bei An-

wendung der nöthigen Vorsicht ganz lokale Erscheinungen erzielen, die natürlich denselben Charakter haben, wie die oben geschilderten bei totaler Reizung. Bei ganz leiser Berührung tritt nur langsam schwaches Runzeligwerden der Pseudopodienspitze ein, ohne Auspressen einer Aussenmasse (Fig. 11 a), bei **etwas stärkerer** Berührung Bildung von Aussenmasse (Fig. 11 b). Die nicht gereizten **Pseudopodien** bleiben dabei ganz normal, ja können sogar während des Vorgangs noch weiter ausgestreckt werden. Ist der Reiz noch stärker, so erstrecken sich die Erscheinungen schon über das ganze Pseudopodium und treten nach erfolgter Reizung bedeutend schneller und heftiger auf, so dass das betreffende Pseudopodium zum grossen Theil, eventuell ganz eingezogen wird. Weiter entfernte Pseudopodien bleiben jedoch auch in diesem Falle noch von dem Retractionsprocess verschont, oder retrahiren sich nur ein kurzes Stück und ganz allmählig (Fig. 12). Dagegen kann sich der Con-

Fig. 12.



Difflugia nrceolata.
Ansicht von oben. Das linke Pseudopodium ist an seiner Spitze stark gereizt worden. Der Reizerfolg nimmt ab mit der Entfernung von der gereizten Stelle. Die in entgegengesetzter Richtung ausgestreckten Pseudopodien zeigen nur noch schwache Contractionserscheinungen an ihren Basen. Ihre Enden bleiben unberührt.

tractionsprocess bei sehr starker Reizung (Stechen oder Quetschen) eines Pseudopodiums auch auf alle übrigen erstrecken, so dass die ganze Pseudopodienmasse eingezogen wird. Das gereizte Pseudopodium wird dabei am schnellsten, fast plötzlich, zurückgezogen, während die anderen, je weiter sie abstehen, um so

langsamer folgen. Bei schneller und heftiger Retraction passirt es bisweilen, dass das Ende des durch den Reiz klebrig gewordenen und am Objectträger festhaftenden Pseudopodiums abreisst! Oft scheitern diese Versuche auch an dem Klebenbleiben der Pseudopodien an der berührenden Nadel, wodurch unbeabsichtigte Zerrungen verursacht werden, die natürlich ebenfalls reizend wirken; immerhin sind die Versuche in so grosser Zahl einwandsfrei gelungen, dass sich die folgenden Sätze mit Sicherheit aus ihrem Ergebniss ableiten lassen:

1. Stärkere Reize haben einen grösseren Reizerfolg als schwächere.
2. Stärkere Reize haben einen schnelleren Reizerfolg als schwächere.
3. Stärkere Reize werden weiter fortgepflanzt als schwächere.
4. Der Reizerfolg nimmt ab mit der Entfernung von der gereizten Stelle.

Zieht man schliesslich noch die Ergebnisse der mechanischen Reizung an anderen Rhizopoden mit heran, so zeigt sich ferner:

5. Grösse des Reizerfolges sowie Geschwindigkeit und Weite der Reizfortpflanzung sind abhängig von der speciellen Protoplasmabeschaffenheit jeder Form und innerhalb gewisser Grenzen auch des Individuums.

Man könnte daher bei ausgedehnteren Untersuchungen an möglichst vielen Formen eine ganze Skala der Reizbarkeit aufstellen.

Diese Gesetze für die Wirkung mechanischer Reizung dürften übrigens nicht blos für letztere, sondern höchst wahrscheinlich für alle Reizqualitäten Gültigkeit haben, nur lassen sich dieselben bei mechanischer Reizung leichter beobachten, besonders an dem nackten, verhältnissmässig trägen Protoplasma der Rhizopoden.

2. Flagellaten.

In der ausgezeichneten Weise wie am Rhizopodenkörper lassen sich an den übrigen Protistenklassen die Wirkungen mechanischer Reizung nicht studiren, weil dieselben wegen ihrer grossen Beweglichkeit und anderer Hindernisse nicht so ruhige und leicht zu behandelnde Objecte vorstellen wie die trägen, nackten, wenig differenzirten Rhizopoden.

Bei den Flagellaten sind die Reactionen auf Erschütterungen

im allgemeinen die gleichen, wie auf lokale Berührungen; sie beantworten dieselben in der Regel damit, dass sie eine kurze Rückzuckung ausführen, die bei verschiedenen Formen in der verschiedensten Weise verläuft.

Am einfachsten ist der Vorgang bei den Formen mit starrem Körperumriss, wie etwa Petalomonas mediocanellata, Trachelomonas hispida und anderen. Diese Formen schwimmen in ungereiztem Zustande vorwärts, indem sie mit ihrer Geissel gleichförmig schlagende Bewegungen in immer gleichbleibender Richtung ausführen. Wirkt ein Reiz plötzlich auf diese Protisten ein, so macht die Geissel sofort eine kräftige unregelmässig schlagende Bewegung, welche den Protisten eine andere Schwimmrichtung giebt, indem sie dieselben seitwärts oder rückwärts schleudert. Am besten kann man das beobachten, wenn sie gegen irgend einen Gegenstand im Wasser anschwimmen, was natürlich stets mit der Geissel geschieht, da diese beim Schwimmen nach vorn gerichtet ist.

Bei den metabolischen Formen, wie z. B. Astasia, die ihre Geissel ganz gerade nach vorn ausgestreckt halten und nur deren äusserste Spitze im Wasser regelmässig schlagende Bewegungen ausführen lassen, kommt bei plötzlicher Berührung eines Fremdkörpers im Wasser zu der ebengenannten seitlichen Schlagbewegung der Geissel noch eine mehr oder weniger starke Contraction des im Schwimmen ausgestreckten Körpers, wobei natürlich ebenfalls eine Rückzuckung entsteht, die dem Protist eine andere Schwimmrichtung verleiht. Mit einer spitzen Nadel lassen sich solche Berührungen leicht im offenen Tropfen ausführen.

Diese Flagellaten mit contractilem Protoplasmakörper bilden in ihrem Verhalten Berührungen resp. Erschütterungen gegenüber gewissermassen den Uebergang zu den Formen, an denen bei starrem Körperumriss ein besonderes contractiles Organoïd ausgebildet ist. Eine derartige Form ist z. B. Anisonema grande. Dieses merkwürdige Flagellat, welches im Besitze zweier ziemlich langer Geisseln ist, liegt mit der einen Geissel, die stets nach hinten gerichtet ist, in normalem Zustande ruhig verankert am Boden, während die andere Geissel nach vorn ihre regelmässigen Schlagbewegungen ausführt. Kommt nun die schwingende Geissel mit irgend einem Körper in Berührung, so schnellt durch eine plötzliche Contraction der am Boden liegenden Geissel der Körper sofort nach der entgegen-

gesetzten Seite hinüber, um nun in dieser neuen Richtung das Spiel der vorderen Geissel wieder beginnen zu lassen (Fig. 1).

Fig. 1.



Ist der Reiz heftiger, etwa eine starke Erschütterung, so schwimmt nach der Rückschnellbewegung das Flagellat auch wohl eine Strecke weit fort, wobei die hintere Geissel wie ein Tau nachgeschleppt wird, bis sich das Protist schliesslich an einer anderen Stelle wieder vor Anker legt. Diese Zuckbewegungen haben also ganz denselben Habitus, der die spontanen Zuckungen dieses Protists auszeichnet (vergl. Seite 33).

An die Form der Retraction durch eine Geissel, wie sie bei Anisonema vertreten ist, schliesst sich unmittelbar diejenige an, bei der die Retraction durch ein echtes Myoïd besorgt wird, wie es bei Poteriodendron petiolatum der Fall ist (Fig. 13). Hier sitzen die einzelnen Individuen der Colonie im ungestörten Zustande auf einem dünnen lang ausgestreckten Myoïd, welches am Grunde des becherförmigen Gehäuses befestigt ist, und lassen ihre Geissel frei im Wasser spielen. Bei einer leisen Berührung aber, etwa durch ein anschwimmendes Infusor etc., schnellt das betroffene Individuum sofort in Folge einer Contraction des Myoïds auf den Grund des Bechers zurück und die Geissel legt sich sprungfederartig aufgerollt, bewegungslos über dem Körper zusammen. Nach Verlauf einiger Secunden beginnt dann das Myoïd, sich allmählig wieder auszustrecken, die einzelnen Umgänge der sprungfederförmigen Geissel dehnen sich etwas, und sobald das Individuum wieder am Rande des Bechers angelangt ist, wird die Geissel plötzlich wie eine Schiffsleine herausgeschnellt, um ihre gewohnte Thätigkeit sofort wieder aufzunehmen. Bei Erschütterungen, welche die ganze Colonie treffen, zeigen sämmtliche Individuen dieses höchst charakteristische Verhalten.

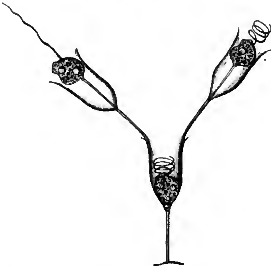
Alle eben ausgeführten Erscheinungen an Flagellaten haben das eine gemeinsame Moment, dass sie die Fähigkeit dieser Protisten erkennen lassen, bei einer Berührung dem ihnen in den Weg kommenden Hinderniss durch eine plötzliche Retraction auszuweichen, sich von ihm zurückzuziehen, eine sehr zweckmässige und nützliche Einrichtung, die sich auf Grundlage der

Contractilität des Protoplasmas durch Selection in verschiedenen Modificationen entwickelt hat.

3. Ciliaten.

Fast genau so wie die Flagellaten verhalten sich mechanischen Reizen gegenüber die Ciliaten-Infusorien. Auch bei ihnen tritt die gemeinsame Eigenthümlichkeit hervor, bei Be-

Fig. 13.



Poteriodendron petiolatum.
Das linke obere Individuum normal ausgestreckt. Das untere Individuum auf Reiz zusammengeschnellt. Das rechte obere Individuum im Beginn sich wieder zu strecken.

rührungen sich von der Ursache des Reizes durch eine plötzliche Bewegung zu entfernen.

Am einfachsten liegen die Verhältnisse wiederum bei den Formen mit starrem oder wenig veränderlichem Körperumriss und gar nicht oder wenig differenzirtem Wimperbesatz. Als Typus diene Paramaecium aurelia. Stösst dieses Ciliat bei seinen hastigen Schwimmbewegungen auf ein Hinderniss, so tritt sofort ein Schlag der Körperwimpern in der der normalen

entgegengesetzten Richtung ein, welcher dem Protist einen kurzen Stoss nach rückwärts giebt oder es einen Augenblick stutzen lässt. Sofort nach diesem Ruck schwimmt das Infusor wieder in anderer Richtung vorwärts.

Bei anderen Formen sind für die Ausführung des Zurückschnellens besondere Cilien resp. Cirrhen entwickelt, wie z. B. bei Pleuronema chrysalis, das der vorigen Gruppe noch sehr nahe steht. Das Infusor liegt still und lässt nur seine undulirende Membran spielen, bis eine Erschütterung oder ein anschwimmender Organismus einen plötzlichen Schlag der langen geradeausgestreckten Körperwimpern auslöst, der das Protist an eine andere Stelle trägt, wo es wiederum still liegen bleibt. Höher differenzirt als bei Pleuronema ist der Sprungapparat bei den hypotrichen Ciliaten, etwa bei Stylonychia. Trifft hier ein Reiz den Körper, so schnellt das Protist nach rückwärts, indem die in der Regel in der 5-Zahl am hinteren Körperpol vorhandenen Sprungcirrhen einen plötzlichen Schlag nach vorn ausführen. Auch Halteria (Taf. I Fig. 1, 2, 3) und Mesodinium (Taf. I Fig. 4, 5, 6) haben sehr entwickelte Sprungwimpern, welche ihren Körper im Moment des Anstossens mit ihrem vorderen Körperende durch einen Schlag nach vorn in entgegengesetzter Richtung ein Stück weit fortschnellen.

Diejenigen Formen, welche in ihrer äusseren Körperschicht contractile Fäden (Myoïde) besitzen, weisen als Hauptfactor bei der Reaction eine Contraction derselben nnd damit des ganzen Körpers auf. So schnellen z. B. Stentor, Spirostomum, Lacrymaria und andere, wenn man sie mit einer Nadel etwas heftiger berührt oder erschüttert, plötzlich zusammen und strecken sich nur langsam wieder ans. Am ausgeprägtesten ist die Erscheinung an denjenigen Vorticelliden, welche ein Stielmyoïd besitzen, das bei jeder Berührung zusammenzuckt. Bei den Formen, die verzweigte Colonieen bilden, wie Zoothamnium und Carchesium, kann man durch Erschütterung und selbst durch Berührung einiger Individuen die ganze Colonie zurückschnellen lassen. Für Zoothamnium ist diese Erscheinung nicht befremdend, da ja alle Individuen untereinander durch die Stielmyoïde in reizleitender Verbindnng stehen. Wohl aber bedarf einer kleinen Erläuterung die Erscheinung, dass selbst bei Carchesium lokale Berührung weniger Individuen den ganzen Stock zusammenschnellen lässt, da hier die einzelnen Individuen nicht in protoplasmatischer

Verbindung untereinander stehen. Durch die Berührung werden allerdings zunächst nur die betroffenen Individuen zum Zurückschnellen veranlasst. Indessen wird durch diesen Vorgang, wenn derselbe sich mit genügender Heftigkeit vollzieht, zugleich eine Erschütterung oder ein Zug auf die benachbarten Individuen ausgeübt, die nun ihrerseits zusammenschnellen, dadurch selbst wieder auf die nächsten reizend wirken und so fort. Der ganze Process verläuft mit solcher Schnelligkeit, dass man oft Mühe hat, eine zeitliche Differenz im Zusammenzucken der einzelnen Individuen zu erkennen. Berührt man aber an einem grossen, ausgestreckten Carchesiumstocke ein einzelnes Individuum mit einer spitzen Nadel ganz vorsichtig, so dass durch das Zurückzucken dieses einzelnen Individuums keine grosse Erschütterung entsteht, so zucken nur noch die benachbarten schwach zusammen und die Individuen an entfernteren Theilen des Stockes bleiben ruhig ausgestreckt. Viel Einfluss auf den Verlauf der Reaction hat dabei auch die grössere oder geringere Reizbarkeit der Colonie. Ich habe z. B., wie auch bei anderen Infusorien, bemerkt, dass nach heftigen und andauernden Erregungen durch Erschütterungen etc. die Reizbarkeit gesteigert erscheint, während sie bei solchen Infusorien, die sehr lange Zeit ganz ruhig gestanden hatten, viel geringer ist; letztere reagiren noch gar nicht auf Reize, welche schon bei ersteren eine heftige Reaction auslösen.

In der Contraction der Myoïde besteht aber auch bei diesen Formen die Reaction nicht allein, sondern man findet auch hier Beeinflussung der Wimperbewegung durch Reize. Ist der Reiz schwach, wie er etwa durch Anschwimmen des betreffenden Infusors gegen einen Fremdkörper im Wasser erzeugt wird, so tritt z. B. bei Spirostomum oder Stentor noch gar keine Contraction der Myoïde ein, während sich eine Reaction der Wimpern schon in der Weise geltend macht, dass dieselben eine kleine Weile in entgegengesetzter Richtung schlagen und dadurch das Protist eine Strecke rückwärts schwimmen lassen, bis die Wimperbewegung dann wieder nach der alten Richtung umschlägt. Ferner habe ich allgemein eine oft starke, verschieden lange dauernde Beschleunigung der Wimperbewegung auf stärkere mechanische Reize bemerkt, wie dieselbe ja auch an Gewebsflimmerzellen schon beobachtet wurde.*) Formen wie

*) Engelmann: „Physiologie der Protoplasma- und Flimmerbewegung". In Hermanns Handbuch der Physiologie Bd. I.

Stentor, Lacrymaria, Halteria, hypotriche Ciliaten etc. stürmen dann förmlich durch das Wasser, indem sie zur Wirbelbewegung (vergl. Seite 30) übergehen, nnd beruhigen sich erst allmählig wieder.

Die Reizbarkeit der Ciliaten ist eine ungemein grosse. Sie sind entschieden die reizbarsten von allen Protisten. Schon für die allerfeinsten Reize, wie ganz schwache Berührung einzelner Wimpern durch herbeigestrudelte Körper, sind sie empfänglich, und was die Reizfortpflanzung im Ciliatenkörper betrifft, so ist dieselbe ebenfalls durchweg eine viel schnellere als etwa bei den Rhizopoden. Reizt man z. B. ein Spirostomum, das sich wegen seiner langgestreckten Gestalt am besten dazu eignet, nur lokal an einem Ende, so tritt sofort eine Contraction des ganzen Körpers ein, ohne dass man eine zeitliche Differenz in der Contraction des vorderen und des hinteren Endes bemerken könnte. Genau so verhalten sich die andern Ciliatenformen. Daraus geht hervor, dass die Reizleitung innerhalb des Ciliatenprotoplasmas eine ungemein schnelle ist, ebenso wie ja auch der Reizerfolg ohne wahrnehmbares Latenzstadium selbst bei schwacher Reizung dem Reize unmittelbar folgt, während bei den Rhizopoden zwischen Reiz und sichtbarem Reizerfolg fast immer noch eine gewisse Zeit der latenten Reizung liegt.

4. Diatomeen und Oscillarien.

Diatomeen und Oscillarien reagiren nach ENGELMANN[66]) dadurch auf Erschütterungen, dass sie ihre Bewegung sistiren.

Uebrigens ist es ja bekannt, dass das Protoplasma aller lebenden Zellen in irgend einer Weise von mechanischen Reizen beeinflusst wird, nur zeigen sich meistens nicht so charakteristische und augenfällige Reactionen, wie an den soeben behandelten Protistenklassen.

Thigmotropismus*).

Als eine der richtenden Wirkung anderer Kräfte entsprechende Wirkungsweise mechanischer Reizung ist die Eigenthümlichkeit vieler Protisten aufzufassen, dass sie auf den Flächen von Gegenständen im Wasser, am Oberflächenhäutchen, an den Wänden der Gefässe etc. umherkriechen resp. -laufen, wie es z. B. Diatomeen, Oscillarien, hypotriche Infusorien etc.

---

[66]) Engelmann: „Physiologie der Protoplasma- und Flimmerbewegung“. In Hermanns Handbuch der Physiologie Bd. I.

*) τὸ θίγμα die Berührung, τρέπω wenden, richten.

thun*). Es ist dies nicht etwa eine Wirkung der Schwerkraft, welche diese Protisten zwingt, sich am Boden zu bewegen, wie die meisten Rhizopoden, sondern es ist eine Contactwirkung, da die betreffenden Protisten, wie bemerkt, nicht nur am Boden, sondern auch am Oberflächenhäutchen, der Unterseite des Deckglases, an den Seitenflächen von Schlamm- und Sandtheilchen etc. umherkriechen nnd -laufen. Ermöglicht wird diese Bewegnng jedenfalls durch ein Minimum von Klebrigkeit und das geringe specifische Gewicht des Körpers.

Vielleicht beruht auch das Umfliessen der Nahrung bei manchen Rhizopoden mit dem Protoplasma ihrer Pseudopodien und ähnliche Erscheinungen auf einer solchen richtenden Contactwirkung, soweit nicht hierbei chemische Reize im Spiele sind.

. Während man diese Erscheinungen als positiven Thigmotropismus auffassen darf, muss man in den Zurückzuckbewegungen der Flagellaten und Ciliaten von der Reizquelle, wie sie oben beschrieben wurden, ja schon in der Retraction der Pseudopodien auf mechanische Reize die ersten Spuren eines negativen Thigmotropismus erblicken.

Zum Schluss möge noch eine Erscheinung Erwähnung finden, die von SCHLEICHER entdeckt und neuerdings von STAHL[67]) wieder untersucht und

Rheotropismus

genannt wurde. Diese Erscheinung gehört hierher, da sie im Grunde genommen nur eine richtende Wirkung mechanischer Reize ist. STAHL machte nämlich an Aethalium septicum folgende Beobachtung. Wenn er die Plasmodien auf Streifen von Fliesspapier kriechen liess, deren eines Ende so in ein Gefäss mit Wasser gehängt war, dass das aufgesaugte Wasser an ihnen entlang fliessen musste, schlugen diese Protisten stets eine Kriechrichtung ein, die dem Wasserstrome entgegengesetzt war. Auf diese Weise gelang es, willkürlich die Plasmodien überall hin zu locken. Durch geeignete Controllversuche wurde festgestellt, dass es sich hier in der That nur um die richtende Wirkung der Strömung des Wassers handelte und dass andere Factoren dabei nicht im Spiele waren. Es ist klar, dass diese Wirkung der Strömungsrichtung nur eine Folge der äusserst

*) An den Samenfäden von Periplaneta orientalis hat Dewitz die gleiche Erscheinung constatirt. In Pflügers Archiv Bd. 31.

[67]) Stahl: „Zur Biologie der Myxomyceten". In Bot. Zeitung 1884.

feinen, aber continuirlichen mechanischen Reizung sein kann, die auf das kriechende Plasmodium dabei ausgeübt wird.

Die Versuche mit mechanischer Reizung ergeben also einen sehr verschiedenen Grad von Reizbarkeit und Reizfortpflanzungsfähigkeit des Protoplasmas der Protisten.

Besonders innerhalb der Gruppe der Rhizopoden, welche sich den Flagellaten und Ciliaten gegenüber überhaupt durch eine bedeutend geringere Reizbarkeit auszeichnet, zeigen sich sehr verschieden hohe Reizbarkeitsstufen. Während manche Formen bei schwachen Reizen gar keine Reaction bemerken lassen, ist bei anderen schon eine deutliche Contraction vorhanden. Der Reizerfolg äussert sich überall bei Rhizopoden in Contractionserscheinungen, die bei starker und totaler Reizung gewöhnlich in Annahme mehr oder weniger vollkommener Kugelgestalt bestehen, bei lokaler Reizung in Einziehung einzelner Pseudopodien.

Ueber die Reizleitungsfähigkeit geben namentlich die Versuche mit lokaler Reizung Aufschluss. Hier tritt dieselbe Verschiedenheit hervor, wie bei der Reizbarkeit, sowohl was die Geschwindigkeit, als die Weite der Verbreitung des Reizerfolges betrifft.

Bei den Infusorien ist sowohl Reizbarkeit als Reizfortpflanzungsfähigkeit unter allen Protisten am höchsten entwickelt. Schon ganz geringe Reize, wie das Anschwimmen von kleinen Organismen, bewirken bei ihnen eine Reaction des ganzen Körpers. Die Reaction besteht auch bei Flagellaten und Ciliaten in Contractionserscheinungen, die je nach der Differenzirung bestimmter Organoïde verschiedene Formen haben können.

Ein fast alle Reactionen der Protisten auf mechanische Reize kennzeichnendes Merkmal ist die Eigenthümlichkeit, dass sie darauf hinzielen, diese Organismen von der Reizquelle zu entfernen. Hierin muss man eine Form von tropischer Wirkung der mechanischen Reize erblicken, einen negativen Thigmotropismus, der analog ist dem negativen Heliotropismus und Thermotropismus. Auch einen positiven Thigmotropismus trifft man an in dem Umfliessen der Nahrung von Seiten mancher Rhizopoden, sowie in dem Kriechen und Laufen vieler Protisten an den Flächen der Gegenstände im Wasser. Eine besondere Form des positiven Thigmotropismus repräsentirt schliesslich der Rheo-

tropismus der Myxomyceten, die dem fliessenden Wasser entgegenkriechen.

D. Akustische Reize.

Die Untersuchung über den Einfluss von akustischen Reizen auf die Bewegungen der Protisten schliesst sich am natürlichsten an die mechanischen Reizversuche an, da ja erstere objectiv nur eine besondere Gruppe der letzteren sind und nur quantitativ, nicht qualitativ von ihnen verschieden. Eine gewisse Selbstständigkeit kommt ihnen aber insofern zu, als der Mensch und die meisten Thiere besondere Organe besitzen, um die Stösse, welche der tönende Körper erzeugt, ohne directe Berührung mit demselben nur durch Uebermittelung der Luft oder des Wassers als eigene Empfindung wahrnehmen zu können. Die Frage, welche die folgenden Versuche entscheiden sollen, ist also die, ob auch die Protisten die Fähigkeit besitzen, auf eine grosse Anzahl von Erschütterungswellen ohne directe Berührung mit dem schwingenden Körper in irgend einer Weise zu reagiren.

Dass eine sehr grosse Zahl von Stössen bei directer Berührung des tönenden Körpers eine Wirkung auf das Protoplasma der Protisten ausübt, hatte mir folgender Versuch an Amoeben gezeigt. Ein grosses breites Deckglas mit einem Wassertropfen, der sehr viel Individuen von Amoeba princeps in lebhafter Bewegung und reicher Pseudopodienentwicklung enthielt, wurde auf den einen Zinken einer Stimmgabel von 256 halben Schwingungen aufgekittet und nun der andere Zinken mit dem Bogen 2—4 Minuten lang angestrichen. Dann wurde das Deckglas mit möglichster Vermeidung aller Erschütterungen schnell abgenommen und der Tropfen unter dem Mikroskop untersucht, wobei sich herausstellte, dass die Amoeben sämmtlich ihre Pseudopodien eingezogen und ziemlich vollkommene Kugelgestalt angenommen hatten. Der Versuch hatte auch noch den gleichen Erfolg bei Anwendung von Stimmgabeln von 512 halben Schwingungen, während bei 960 die Erscheinung schon nicht mehr ganz zweifellos war.

Leider ist es unmöglich, diese Versuche so exact anzustellen, dass man sagen könnte, wie viel Stösse dabei die Amoeben treffen, denn durch die Eigenschwingungen des Wassers und der Schlammtheilchen kommen so viel secundäre Erschütterungen zu Stande, welche diejenigen der Stimmgabel compliciren, dass man eben nur den Schluss aus dem Versuch ziehen kann,

die Amoeben reagiren auf eine sehr grosse Anzahl von Stössen bei genügend langer, direkter Einwirkung durch Annahme mehr oder weniger vollkommener Kugelgestalt.

An demselben Fehler müssen nothwendiger Weise auch die rein akustischen Versuche leiden, bei denen die Stimmgabel nicht direct ihre Schwingungen auf die Protisten überträgt, sondern erst durch ein Medium von Luft und Wasser resp. nur von Wasser. Indessen ist das überhaupt von keiner Bedeutung, da, wie sich zeigen wird, die rein akustischen Versuche nur negative Resultate ergeben.

Zunächst wurde versucht, ob Töne von Saiteninstrumenten und Stimmgabeln verschiedener Höhe und Intensität durch Luft und Wasser ohne Berührung eine Wirkung auszuüben im Stande sind. Es wurden diese Versuche an solchen Ciliaten gemacht, die sich durch sehr hohe mechanische Reizbarkeit auszeichnen, wie Stylonychia, Halteria und Vorticella, indem ganz in der nächsten Nähe des Tropfens das Instrument angestrichen und gleichzeitig die Beobachtung durch das Mikroskop gemacht wurde. Dabei stellte sich auch nicht die geringste Spur einer Wirkung ein.

Nun wurde der Versuch in der Weise modificirt, dass an dem einen Zinken einer Stimmgabel ein mit einem kleinen Querbälkchen am Ende versehenes Drahtstäbchen befestigt wurde, das möglichst wenig Eigenschwingungen besass. Dieses wurde, wenn die Stimmgabel angeschlagen war, sofort mit seinem Querbälkchen in das Wasser eingetaucht, in welchem sich die Versuchsobjecte befanden, zu diesem Zweck etwas grössere Formen, Stentor coeruleus und Stentor polymorphus. Wenn in dem Schälchen sich die Stentoren in der Nähe des schwingenden Stäbchens befanden, so zuckten sie zwar zusammen, aber diese Zuckung war deutlich nur die Folge der stark wirbelnden unregelmässigen Wasserbewegung, welche die Stentoren hin und her riss. Etwas weiter entfernte Stentoren wurden zwar auch noch schwach geschüttelt, reagirten aber weiter gar nicht darauf.

Ein ähnliches Resultat hatten dieselben Versuche an Difflugia urceolata. Durch die Schwingungen wurden im Wasser grobe, unregelmässige Erschütterungen von geringer Zahl in der Secunde erzeugt, welche bewirkten, dass die frei ins Wasser hinausragenden Pseudopodien in unregelmässige, pendelnde Bewegung geriethen. Diese Pseudopodien zeigten alsdann die typische Erscheinung, welche nach jeder mechanischen Reizung auftritt

(vergl. Seite 77), während diejenigen Pseudopodien, welche fest auf der Unterlage hafteten, keine Veränderung bemerken liessen. Gerieth das ganze Protist in Bewegung, so wurden alle Pseudopodien eingezogen und erst nach einiger Zeit der Ruhe wieder ausgestreckt. Haftete aber das ganze Protist auf der Unterlage, so blieb überhaupt jede Wirkung aus, obgleich doch auch diese Protisten von den Stimmgabelschwingungen, die das Wasser trafen, berührt wurden. Die Stimmgabeln, welche zu diesen Versuchen verwendet wurden, hatten 256, 512, 960 und 1500 halbe Schwingungen. Auch bei letzteren, wenn dieselben etwas grössere Amplitude besassen, zeigten sich noch die betreffenden Erscheinungen als Folge der dabei entstehenden groben Erschütterungen.

Mir scheint aus diesen, wenn auch wenig exacten Versuchen hervorzugehen, dass bei den betreffenden Protisten von einer Reaction auf Schallwellen nicht wohl gesprochen werden kann, da eine grössere Anzahl nur mittelbar auf sie einwirkender Erschütterungen vollständig ohne Wirkung bleibt, und die etwa auftretenden Veränderungen nur Folge der groben secundären Erschütterungen sind. Nachdem an sonst so sensiblen Formen wie den erwähnten Ciliaten alle Versuche erfolglos gewesen sind, halte ich es überhaupt für unwahrscheinlich, dass bei den Protisten die Fähigkeit, auf akustische Reize zu reagiren, sich schon aus der groben mechanischen Reizbarkeit differenzirt hat.

E. Bewegungen auf chemische Reize.

Die Zahl der chemischen Körper, welche als Reiz auf das Protoplasma der Protisten wirken, ist eine ungeheuer grosse. Entschieden der grösste Theil aller chemischen Körper überhaupt wirkt reizend, und es liegen daher auch schon eine ganze Reihe von Beobachtungen über die chemische Reizbarkeit der Protisten vor. Eine umfassende, nach systematischen Gesichtspunkten unternommene Untersuchung der chemischen Reizbarkeit, welche sicherlich sehr werthvolle und bedeutsame Ergebnisse liefern dürfte, würde aber gewiss eine Arbeit von mehreren Jahren sein. Eine solche ausgedehnte Untersuchung entspricht natürlich durchaus nicht dem Zweck der vorliegenden Arbeit. Vielmehr sollen die folgenden Seiten nur die wichtigsten Erscheinungen behandeln, welche sich als Reactionen der Protisten auf chemische Reize in ihren Bewegungen äussern.

1. Rhizopoden.

Ueber den Einfluss von chemischen Reagentien auf die Bewegungen der Rhizopoden liegen besonders von MAX SCHULTZE [68]), KÜHNE [69]), HOFMEISTER [70]) und ENGELMANN [71]) Beobachtnngen vor, die sich auf Amoeben, Myxomyceten, Heliozoën und Foraminiferen beziehen. Die Wirkung der Reagentien ist im allgemeinen die gleiche: die Protisten ziehen ihre Psendopodien zurück, streben danach, Kugelgestalt anznnehmen und stellen ihre Bewegungen ein, kurz die Reagentien bewirken Contractionserscheinnngen des Rhizopodenkörpers, bei denen allerdings häufig die Klarheit des Vorgangs durch Nebenerscheinungen, wie Quellungs- nnd Gerinnungsprocesse etc., getrübt wird. Es sei übrigens beiläufig bemerkt, dass Contractionsvorgänge durchaus nicht blos im Kugligwerden und Pseudopodieneinziehen ihren sichtbaren Ausdruck finden, sondern dass häufig noch andere äussere Erscheinungen, wie Ausstossen von Körperinhalt (Nahrungsmassen, Körnchen, hylinen Kugeln mit mehr oder weniger Flüssigkeit, ja sogar von Plasmatheilen und Zellkernen etc.) auftreten, die jedoch alle in letzter Instanz stets auf eine Contraction des Protoplasmakörpers oder einzelner Theile desselben zurückgeführt werden können. Alle solche Erscheinungen kommen bei Anwendung von chemischen Reizen vor, und besonders sind es die Myxomyceten, welche dieselben in grosser Mannigfaltigkeit aufweisen.

Säuren, Alkalien und Salze wirken in den entsprechenden Concentrationen, auf die es natürlich vor allem ankommt, in gleicher Weise Contractionen auslösend. So fand KÜHNE, dass Amoeben kuglig wurden und Actinosphaerium seine Pseudopodien nnter den typischen Erscheinungen (vergl. Seite 80) einzog, sowohl bei Anwendung von 0,1 % Salzsäurelösung, als bei 1 % Kalihydratlösung, wie auch bei 1—2 % Kochsalzlösung. Die Beweglichkeit der Amoeben schien dabei im Anfang etwas erhöht zu sein. Bei längerer Einwirknng dieser Stoffe erfolgt dann der Tod im Stadium der Contraction, was in der Regel

---

68) Max Schultze: „Das Protoplasma der Rhizopoden nnd Pflanzenzellen". Leipzig 1863.

69) Kühne: „Untersuchungen über das Protoplasma und die Contractilität". Leipzig 1864.

70) Hofmeister: „Die Lehre von der Pflanzenzelle". Leipzig 1867.

71) Engelmann: „Physiologie der Protoplasma- und Flimmerbewegung" In Hermanns Handbuch der Physiologie Bd. I.

nach kurzer Dauer der Einwirkung durch Zufuhr von reinem Wasser noch verhindert werden kann, so dass die Protisten alsdann nach einiger Zeit wieder Pseudopodien bilden und ihre Bewegungen von neuem aufnehmen.

Sehr fruchtbar wäre es, den Einfluss der Alkaloïde, die ja bei Thieren auf das Muskelsystem, sowie das peripherische und centrale Nervensystem ganz specifische Wirkungen besitzen, auf den Protistenkörper zu untersuchen, wegen der Analogieen, die sich eventuell mit den genannten Organen der Thiere herausstellen dürften. Leider ist bisher nur sehr wenig darüber bekannt. KÜHNE fand, dass sehr verdünnte Veratrinlösungen bei Amoeben, Myxomyceten und Actinosphaerium Contractionen verursachen und bei andauernder Einwirkung den Tod herbeiführen.

Eine schwache Lösung von Curarinum sulfuricum, dessen Einfluss ich selbst bei Actinosphaerium untersuchte, bewirkte ebenfalls langsames Einziehen der Pseudopodien und schliesslich körnigen Zerfall des Körpers von aussen her nach innen fortschreitend. Solange der Körper nicht vollständig zerfallen war, konnte der unversehrte Kern durch Ueberführen in frisches Wasser immer noch gerettet werden.

Ganz ebenso wie die Lösungen fester Körper wirken manche Gase, wie z. B. Kohlensäure, Ammoniak-, Aether- und Chloroformdämpfe. Aether und Chloroform habe ich am besten applicirt, indem ich die Protisten im hängenden Tropfen am Deckglas über den Glasring der SELENKAschen feuchten Kammer brachte und diesen auf einen breiten Objectträger setzte, der mit einem Tropfen Aether oder Chloroform benetzt war. Die Dämpfe theilen sich dann in der geschlossenen Kammer schnell dem Wasser mit, und man kann die Wirkung direct unter dem Mikroskop beobachten sowie die Einwirkung zur geeigneten Zeit unterbrechen. Auch durch Zusetzen von Chloroformwasser zum Tropfen, das durch Schütteln von etwas Chloroform mit Wasser, Setzenlassen und Verdünnen der Lösung hergestellt ist, kann man langsame Wirkungen erzielen und leicht beobachten. Die Pseudopodien von Actinosphaerium werden in der typischen Weise langsam eingezogen, bis das Protist zu einer Kugel geworden ist, die alle spontanen Bewegungen eingestellt hat. Nach Zuführung von frischem Wasser kann aber, wenn nicht die Einwirkung zu lange gedauert hat und das Protist schon

zerfallen ist, die Narkose wieder gelöst werden, so dass nach 30—40 Minuten das Verhalten wieder normal wird.

Nach Sauerstoff-Entziehung werden die Bewegungen der Amoeben noch eine Zeit lang fortgesetzt, ermatten aber nach und nach und hören schliesslich ganz auf, nachdem die Rhizopoden meist Kugelform angenommen haben. Diese Beobachtung machte KÜHNE, indem er die Protisten reinem Wasserstoff aussetzte, welcher sich ganz indifferent verhält. Dabei wirkt dann nur die Sauerstoff-Entziehung. Nachdem die Amoeben 24 Stunden bewegungslos und ohne Sauerstoff gewesen waren, nahmen sie ihre Bewegungen bei neuer Sauerstoffzufuhr wieder auf und wurden wieder ganz normal. Ebenso verhielt sich Actinosphaerium.

Dieselben Ergebnisse, welche KÜHNE als Wirkung der chemischen Reize auf Amoeben und Actinosphaerium fand, erhielt ich bei Versuchen an Pelomyxa palustris, Arcella vulgaris, Difflugia urceolata und Actinophrys sol. Letzteres verhielt sich genau wie Actinosphaerium. Bei Pelomyxa, die bei Anwendung von Säuren, Chloroform etc. in wenigen Secunden (ca. 3 Sec.) Kugelgestalt annahm und wenn nicht frisches Wasser zugeführt wurde, starb, war die Contraction bei etwas stärkeren Lösungen immer mit einem körnigen Zerfall der vorher ganz glatten Oberfläche verbunden, eine Erscheinung, die an diesem Protist bei allen übermässigen Contractionen auf die verschiedensten Reize auftritt, und durch einseitige Anwendung von Reagentien auch lokal erzeugt werden kann.

2. Ciliaten.

Bei den Ciliaten erstreckt sich der Einfluss der chemischen Reize auf drei verschiedene Bewegungserscheinungen: 1. auf die Wimperbewegung, 2. auf die Thätigkeit der Myoïde und 3. auf den Rhythmus der pulsirenden Vacuolen.

Die Wirkung von Säuren, Alkalien und Salzen auf die Wimperbewegung ist noch wenig untersucht. Im allgemeinen scheint im Beginne der Einwirkung eine Erhöhung der Wimperthätigkeit (Excitationsstadium), dann allmählige Verzögerung mit Unregelmässigkeiten des Schlages und endlich Stillstand einzutreten. Die Steigerung der Wimperthätigkeit äussert sich gewöhnlich darin, dass die Ciliaten schnell unter starken Rotationsbewegungen durch das Wasser schiessen, wie z. B. Paramaecium aurelia, Stentor, Halteria, hypotriche Ciliaten und andere,

eine Erscheinung, die bei Anwendung aller Reizqualitäten zu beobachten ist. Bei den Ciliaten mit differenzirten Myoïden tritt sofort auf Einwirkung der Reagentien eine Contraction derselben ein, die gewöhnlich, wenn der Reiz nicht in Folge zu grosser Intensität zerstörend wirkt, zum Theil, auch wohl ganz wieder nachlässt, um bei stärkerem Reiz (stärkerer Concentration der Lösung) von neuem einzutreten. Vorticellinen lösen sich dabei häufig in der Contraction von ihrem Stiel los.

Die Wirkung von Alkaloïden ist von ROSSBACH [72]) an Euplotes charon, Stylonychia pustulata und Chilodon cucullulus eingehender untersucht worden. In Bezug auf die Wimperbewegung stellten sich im allgemeinen dieselben Erscheinungen ein, welche oben angeführt wurden: Die Bewegungen wurden unruhig, es traten Drehbewegungen ein, dann folgte Verlangsamung und Unregelmässigwerden des Wimperschlages und schliesslich Tod. Besonders hat ROSSBACH auch die Thätigkeit der Vacuole beobachtet und gefunden, dass bei Anwendung von Strychninum nitricum (1 : 5000) die Vacuole sehr stark dilatirt wurde und schliesslich stillstand. Veratrinum muriaticum, Chininum muriat., Digitalinum muriat., Atropinum sulfuricum und Morphinum muriaticum hatten ganz ähnliche Wirkungen, auch auf die Wimperbewegung.

Den Einfluss von Curare untersuchte ich an verschiedenen Ciliaten, nachdem bereits früher Angaben gemacht worden waren, dass dasselbe bei Ciliaten ohne Wirkung sein soll. Die Versuche, welche ich zunächst mit einem Aufguss des trockenen, allgemein gebräuchlichen Präparats machte, hatten verschiedene, zum Theil ganz entgegengesetzte Ergebnisse und veranlassten mich daher, neue Versuche mit Curarinum sulfuricum anzustellen. Hiermit konnte ich jedoch nur die früheren Angaben bestätigen, denn Spirostomum, Stentor, Carchesium und andere Ciliaten blieben selbst von starken Lösungen vollständig unberührt und liessen keine Spur einer Wirkung wahrnehmen.

Gase haben ungefähr die gleiche Wirkung auf die Ciliaten wie Lösungen. Kohlensäure steigert anfangs die Wimperthätigkeit und verlangsamt sie dann bis zum gänzlichen Stillstand. Der Rhytmus der contractilen Vacuole dagegen wird

[72]) Rossbach: „Die rhythmischen Bewegungserscheinungen der einfachsten Organismen und ihr Verhalten gegen physikalische Agentien und Arzeneimittel“. In Arbeiten a. d. zool.-zoot. Inst. z. Würzburg 1874.

gleich verlangsamt, dann dilatirt sich dieselbe sehr stark und steht schliesslich still.

Wasserstoff wirkt nur durch Sauerstoffentziehung tödtlich, sonst nicht giftig. Dass Sauerstoffentziehung natürlich mit tief in das Leben eingreifenden Folgen verbunden sein muss, ist aus dem Gaswechsel der Ciliaten sehr erklärlich, die ja Sauerstoff verbrauchen und Kohlensäure ausscheiden. Sauerstoffmangel bewirkt denn auch nach ROSSBACH Abnahme der Schnelligkeit aller Bewegungen und Lähmung der contractilen Vacuole im Dilatationszustande. Neuerdings sind von JAMES CLARK [73]) Versuche gemacht worden über den Einfluss niederer Sauerstoff-Spannungen auf die Bewegung der Ciliaten, welche ergaben, dass die Bewegung, wenn sie in Folge Sauerstoffmangels erloschen war, wieder auftritt bei einer geringen Erhöhung der Sauerstoffpressung, die für Pleurotricha, Stylonychia und Paramaecium noch nicht 1 mm Quecksilberdruck, bei Glaucoma und Chilodon sogar noch weniger, also eine auffallend geringe Grösse beträgt. Dauert die Sauerstoffentziehung etwas zu lange, so erfolgt gewöhnlich am vorderen Körperpol ein Zerplatzen der Ciliaten, das nach hinten fortschreitet. Durch sofortige Steigerung des Sauerstoffdrucks gelingt es jedoch, dasselbe augenblicklich zu sistiren.

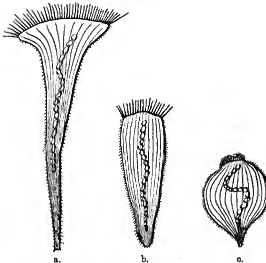
Aether- und Chloroformdämpfe bewirken ebenfalls eine bedeutende Herabsetzung der Wimperthätigkeit, welcher in der Regel ein kurzes Excitationsstadium vorauszugehen scheint; doch habe ich letzteres nicht immer mit Sicherheit beobachten können. Sind die Wimpern erst einmal völlig zum Stillstand gelangt, so gelingt es meist nicht, durch Zufuhr von frischem Wasser die Protisten am Leben zu erhalten, was dagegen, solange die Wimpern noch schwach schlagen, bei vielen Formen (z. B. Stentor, Carchesium etc.) leicht erreicht werden kann. Indessen giebt es einige Formen, die sich auch nach vollständigem Stillstand der Wimpern bisweilen wieder aus der Narkose erholen, wie z. B. Halteria grandinella aus der Chloroformnarkose. Diejenigen Formen, welche differenzirte Myoïde besitzen, zeigen sofort bei Einwirkung des Aethers oder Chloroforms eine plötzliche Contraction derselben, die im weiteren

---

[73]) James Clark: „Ueber den Einfluss niederer Sauerstoffpressungen auf die Bewegungen des Protoplasmas". (Vorläufige Mittheilung.) In Berichten d. Deutsch. Bot. Ges. 1888 Bd. VI.

Verlauf der Einwirkung wieder um ein Geringes nachlässt. So streckt sich z. B. Stentor, der auf Zusatz von Chloroformwasser zu einer Kugel zusammengeschnellt ist (Fig. 17 c), nach einiger Zeit zu einem Stadium halber Contraction wieder aus, wie er es etwa beim freien Schwimmen im Wasser annimmt (Fig. 17 b). In diesem Zustande ist die Reflexerregbarkeit der

Fig. 17.



Stentor coeruleus.
a. Normal ausgestreckt.
b. Im Zustande halber Contraction frei schwimmend.
c. Vollständig contrahirt.

Myoïde bedeutend herabgesetzt, ja häufig ganz erloschen, und es gelingt meist nicht, durch mechanische oder elektrische Reizung eine Zuckung des Stentor herbeizuführen, bis er schliesslich anfängt, sich langsam aus der Narkose wieder zu erholen.

Die Contraction der Myoïde und damit der äusseren Körperschicht hat übrigens noch eine interessante Erscheiuung im Gefolge, die man namentlich bei Paramaecinm sehr deutlich beobachten kann. Setzt man einen hängenden Tropfen, in dem sich zahlreiche Paramaecien befinden, einer kurzen Einwirkung von Aetherdämpfen aus, so treten bei der sofort eintretenden schwachen Körpercontraction lange Fäden aus dem

Körper hervor, die von den sogenannten Trichocysten herrühren. Diese Fäden sind nicht etwa in besonderen Kapseln im Körper präformirt, sondern sie repräsentiren einen durch die Contraction aus der äussersten Körperschicht ausgepressten Flüssigkeitsstrahl, welcher bei der Berührung mit Wasser sofort erstarrt. Die Fäden sind in der That alle starr und meist gerade ausgestreckt. Von der Trichocyste selbst ist nach der Contraction nichts mehr zu bemerken, ein Zeichen, dass die ausgepresste Flüssigkeit keine besondere Hülle besass. Letzteres wird sehr deutlich, wenn nach kurzer Zeit beim Absterben aus dem Ciliatenprotoplasma breite hyaline Vorwölbungen auszutreten beginnen, welche die äussere Haut vom Körper abheben. An dieser sieht man alsdann nur noch ganz vereinzelte Trichocysten sitzen. Ein Vergleich der Trichocysten mit Nesselkapseln, der schon aus dem Grunde nicht aufrecht erhalten werden kann, dass die Fäden nie spontan oder bei Berührungen mit andern Organismen, sondern nur auf künstliche Reize durch allerlei Reagentien hervorgeschnellt werden, wird durch diese Beobachtung nicht annehmbarer gemacht. Es sei übrigens hier noch darauf hingewiesen, dass man zugleich an der abgehobenen Haut die feinen in der Längsrichtung den Körper umziehenden Myoïdfibrillen ungemein deutlich wahrnehmen kann, welche dem Protist eine beschränkte Gestaltveränderung, besonders beim Durchzwängen zwischen Schlammtheilchen gestatten.

Ueber die unmittelbaren Wirkungen chemischer Reize auf die anderen Protistenklassen liegen zur Zeit nur so vereinzelte Beobachtungen vor, dass dieselben für unsern Zweck kaum verwerthet werden können. Nur die Beobachtung STRASBURGERS[74]) möge noch Platz finden, dass Sauerstoffentziehung die Lichtstimmung der Schwärmsporen in der Weise beeinflusst, dass dadurch photophobe Schwärmer zu photophilen werden können.

Es giebt indessen eine Zahl von nicht so unmittelbar zu beobachtenden Wirkungen, die Interesse verdienen.

Zunächst ist sehr verbreitet eine ungemein weit gehende **Anpassungsfähigkeit an manche chemische Reize**, die eigentlich gegenüber der bekanntlich sehr geringen Resistenzfähigkeit vieler Protisten gegen ganz schwache Veränderungen in der Zusammensetzung des Wassers etc. recht auffällig erscheinen muss.

---

[74]) **Strasburger**: „Wirkung des Lichts und der Wärme auf Schwärmsporen“. In Jenaische Zeitschr. f. Nat. Bd. 12.

Schon ENGELMANN[75]) machte die Beobachtung, dass allerlei Protisten des Seewassers die allmählig immer mehr zunehmende Concentration desselben durch Verdunstung sehr gut vertragen und sich schliesslich bei einem Salzgehalt von 10 % noch ganz normal verhalten. Diese langsame Steigerung der Concentration verursacht also keine Veränderungen am Protistenkörper, wohl aber wirkt eine plötzliche Veränderung des Mediums als Reiz. „Süsswasseramoeben, die ich an Salzwasser von 2,5 % akkommodirt hatte, zogen sich bei Zusatz halbprocentiger Kochsalzlösungen heftig zusammen, begannen aber nach 10 Minuten wieder sich in der üblichen Weise zu bewegen."

Einen ganz ähnlichen Versuch machte ich an Actinosphaerium Eichhornii. Setzte ich eine geringe Menge einer schwachen Natriumbicarbonatlösung zu dem Tropfen, in welchem sich die Actinosphaerien befanden, so wurden in kurzer Zeit alle Pseudopodien unter den typischen Retractionserscheinungen eingezogen. Nach Verlauf von 15 Minuten begannen aber die Protisten wieder ihre Psendopodien auszustrecken, bis sie einige Zeit später wieder ganz normal waren und sich nun so verhielten, als ob sie sich in reinem Wasser befänden. Es bedurfte jetzt eines neuen Zusatzes einer etwas stärkeren Lösnng, um eine neue Retraction der Pseudopodien zu veranlassen. So konnte bei allmähliger Abstufung der Concentration dieselbe Erscheinung viele Male hintereinander erzielt werden. Diese Protisten besitzen mithin eine hochgradige Anpassungsfähigkeit an gewisse chemische Reize.

Eine höchst interessante Erscheinung ist schliesslich die richtende Wirkung chemischer Reize, welche von PFEFFER[76]) „Chemotaxis" genannt worden ist und wohl im Einklang mit der Bezeichnungsweise der richtenden Wirkung anderer Reize am besten bezeichnet wird als

Chemotropismus.

1. Bacterien.

Den richtenden Einfluss von Sauerstoff auf die Bewegungen der Bacterien hat ENGELMANN[77]) entdeckt. Er fand nämlich,

[75]) Engelmann: „Physiologie der Protoplasma- und Flimmerbewegung". In Hermanns Handbuob der Physiologie Bd. I.

[76]) Pfeffer: „Ueber chemotaktiscbe Bewegungen von Bacterien, Flagellaten und Volvocineen". In Unters. a. d. bot. Inst. z. Tübingen Bd. II 1888.

[77]) Engelmann: „Neue Methode zur Untersuchung der Sauerstoffausscheidung pflanzlicher und thierischer Organismen". In Pflügers Arch. Bd. 25.

dass sich gewisse Bacterienformen stets in grossen Massen um Sauerstoff-Quellen, z. B. an beleuchteten chlorophyllhaltigen Algen, an den Rändern des Deckglases etc. ansammeln und hier still liegen bleiben, eine Erscheinung, die ENGELMANN in genialer Weise praktisch als mikrochemisches Reagens zum Nachweis sehr geringer Sauerstoffmengen zu verwerthen gewusst hat. In der That ist es eine einfache Beobachtung, dass, wenn man einen Tropfen etwa mit Spirillum undnla oder Spirochaete plicatilis mit dem Blatt einer Wasserpflanze zusammen unter ein Deckglas bringt, in wenigen Minuten eine starke Anhäufung, gewöhnlich ein dicker Wall von Bacterien in einiger Entfernung um das Blatt gebildet wird, der anfangs ein Durcheinanderwimmeln von unzähligen Bacterien repräsentirt, die sich allmählig beruhigen und dann still liegen bleiben. Auch in gewisser Entfernung von den Rändern des Deckglases sieht man einen solchen Wall ganz regelmässig verlaufen, während nach einiger Zeit mitten im Tropfen unter dem Deckglas nur ganz vereinzelte Bacterien anzutreffen sind.

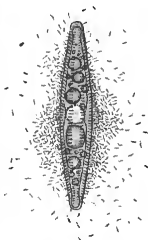
In sehr hübscher Weise zeigte mir die folgende Beobachtung den Chemotropismus von Spirochaete plicatilis. In einem Tropfen unter dem Deckglas befand sich im Gesichtsfeld eine grosse Diatomee (Pinnularia), welche dicht umgeben war mit einem Wall von bewegungslos liegenden Spirochaeten. Im übrigen Theil des Gesichtsfeldes waren fast keine Spirochaeten sichtbar. Während ich diese Beobachtung durch das Mikroskop machte, fing die Diatomee plötzlich an, eine Strecke weiter zu gleiten, bis sie wiederum ganz still liegen blieb. Die Bacterien, welche so von ihrer Sauerstoffquelle plötzlich im Stich gelassen waren, lagen zunächst noch einige Augenblicke ruhig, fingen aber bald darauf an, sich lebhaft zu bewegen und in dichten Schaaren wieder zu der Diatomee hinüberzuschwimmen. In 1 bis 2 Minuten waren fast alle wieder um dieselbe versammelt, umgaben sie wie vorher als Wall und blieben bewegungslos an ihr liegen (Fig. 14).

Auf das Bestreben der Bacterien, dem Sauerstoff nachzufolgen, scheint mir auch die Thatsache zurückgeführt werden zu müssen, dass die Bacterien mit Vorliebe sich an der Oberfläche von Flüssigkeiten ansammeln und hier eine sogenannte Oberflächenhaut von häufig beträchtlicher Dicke erzeugen, während sie in der übrigen Flüssigkeit nur spärlich anzutreffen sind.

Den richtenden Einfluss einer grossen Zahl chemischer Körper

auf eine Reibe von Bacterienformen zeigte neuerdings PFEFFER in seiner vortrefflichen Arbeit über chemotaktiscbe Bewegungen. Er füllte kleine Capillarröhrchen mit Lösungen der betreffenden Stoffe nnd fügte dieselben dem bacterienhaltigen Tropfen bei. So konnte er einerseits den verschiedenen Einfluss der Stoffe selbst, welche entweder ein Hineinwandern in die Capillare, also positiven Chemotropismus, oder ein Fliehen derselhen, also negativen Chemotropismus hervorriefen, und andrerseits auch die Wirkung verschiedener Concentrationen untersucben, die bei schwachen Lösungen bäufig in Anziehung, bei starken Lösungen dagegen in Abstossung bestehen. Letztere Erscbeinung, die man direct mit der Photometrie der Flagellaten analogisiren muss, kann man dementsprechend auch passend als Chemometrie bezeichnen. Die Reizschwelle, d. h. diejenige Concentration, bei der die überhaupt chemotropisch wirksamen Stoffe eben ibre Wirkung zu äussern beginnen, ist bei verschiedenen Stoffen und verschiedenen Bacterienformen sehr verschieden. Manche Stoffe wirken in allen Concentrationen nur positiv, manche nur negativ chemotropisch, sehr viele sind ganz indifferent. Höchst bedeutungsvoll ist scbliesslich die Erscheinung, dass aucb Stoffe, die für die Protisten ganz ohne Nährwerth sind, die auf die Dauer das Leben nicht einmal unterhalten können, wie die meisten Metallsalze, ja sogar direct scbädliche Stoffe, wie eine Lösung von salicylsaurem Natron oder Morpbium oder Chlorkalium mit Quecksilbercblorid, die Bacterien nicbt nur anzuziehen, sondern sogar aus gnter Nährflüssigkeit wie Fleiscbextractlösung etc., heranszulocken im Stande sind. Aucb wirken manche Stoffe anziehend, welche unter normalen Lebensverhältnissen überbaupt gar nicht mit den

Fig. 14.



hetreffenden Protisten in Berührung kommen, wie z. B. Rubidiumchlorid. Es ist leider nicht möglich, auf die vielen interessanten Einzelheiten der PFEFFERschen Arbeit genauer einzugehen, so dass zu diesem Zweck auf die Orginal-Arbeit verwiesen werden muss.

2. Rhizopoden.

Unter den Rhizopoden wurde für die Myxomyceten, speciell für Aethalium septicum von STAHL [78]) Chemotropismus nachgewiesen. Plasmodien, die auf Fliesspapier mit dem einen Theil in sauerstofffrei gemachtes und durch eine Oelschicht von der Luft abgeschlossenes Wasser getaucht wurden, krochen nach kurzer Zeit aus dem Wasser heraus, indem das Protoplasma aus den untergetauchten Strängen nach ohen strömte, also ein Zeichen, dass der Sauerstoff der Luft in diesem Fall chemotropisch wirksam ist. Auch anderen Körpern gegenüber verhielten sich diese Protisten chemotropisch. Wenn sich die Plasmodien auf feuchtem Fliesspapier ausgebreitet hatten, wurde letzteres entweder mit dem einen Ende in ein Gefäss gehängt, welches den hetreffenden Körper am Boden in Lösung enthielt, oder es wurde der Körper in fester Form an einer Stelle dem Plasmodium angelegt. Auch hier zeigte sich positiver und negativer Chemotropismus. Wurde z. B. ein Stückchen Kalicarhonat an einen Zweig des Plasmodiums gebracht und diese Stelle mit Zinnober markirt, so zog sich allmählig ein grosser Theil der Protoplasmamasse nach dieser Stelle hin und bildete hier neue Ausläufer, his das Stück umflossen war. „Schliesslich geht aher bei diesen Versuchen, wo die Einwirkung eine zu stürmische ist, das Plasmodium zu Grunde." Letztere Erscheinung hietet ein Analogon zu dem von PFEFFER beschriebenen positiven Chemotropismus nach schädlichen Stoffen. Eine Anziehung üben auch viele nicht schädliche Stoffe aus, hesonders solche, die zur Nahrung dienen, wie in diesem Falle Lohestückchen oder Papierkugeln, die mit Loheaufguss getränkt sind. STAHL hat diese Form des Chemotropismus deshalh als **„Trophotropismus"** hezeichnet. Eine ahstossende Wirkung dagegen haben z. B. Kochsalzkrystalle, Salpeter, Glycerin etc., bei deren Berührung die zunächst betroffenen Stellen gewöhnlich ahsterben, während das übrige Protoplasma zurückfliesst. Es entsteht dadurch mitten im Plasmodium um die hetreffenden Stoffe ein freier Hof.

---

[78]) Stahl: „Zur Biologie der Myxomyceten". In Bot. Zeitung 1884.

3. Flagellaten.

Unter der Gruppe der Flagellaten ist der Chemotropismus ebenfalls sehr verbreitet. ADERHOLD [79]) wies den chemotropischen Einfluss von Sauerstoff auf Euglena viridis nach, indem er zeigte, dass die Flagellaten sich in Capillarröhren, die bis auf eine Luftblase mit Wasser gefüllt waren, stets in grossen Massen an der Luftblase ansammelten, gleichgültig, ob die Berührungsstelle des Wassers mit der Lnft nach oben, nach unten oder seitwärts gerichtet war.

Für Cryptomonas erosa konnte ich die gleiche Eigenschaft nachweisen. Diese Flagellaten sammelten sich in einem grossen Glas-Bassin stets an der Oberfläche des Wassers an und bildeten eine Oberflächenhaut. Als ich sie durch Schütteln in einem Gläschen gleichmässig im Wasser vertheilte und mit einigen Luftblasen nnter ein Deckglas brachte, waren in kurzer Zeit sämmtliche Luftblasen sowie die Ränder des Deckglases dicht, wie mit einem Mantel, von ihnen umgeben (Fig. 15), während die übrigen Theile des Tropfens nur sehr spärliche Individuen enthielten. Auch hier ist es also der chemotropische Einfluss des Sauerstoffs, der zur Bildung eines sogenannten Oberflächenhäutchens führt.

Fig. 15.



2 Luftbläschen von Cryptomonas besetzt. Vergrössert.

Ueber die Wirkung von verschiedenen Lösungen machte wiederum PFEFFER (l. c.) zahlreiche Untersuchungen an Bodo saltans, B. ovatus, B. caudatus, Monas guttula, Trepomonas agilis, Polytoma uvella, Chlamydomonas pnlvisculns, Chl. obtusa, Hexamitus rostratus, Englena hyalina etc., welche im ganzen die gleichen Resultate lieferten, wie die oben für Bacterien angeführten Versuche.

4. Ciliaten.

Auch auf Ciliaten übt Sanerstoff bedeutenden chemotropischen Einfluss aus, wie mir die folgenden Versuche bewiesen. Ein Reagenzglas wurde mit einer von Paramaecium aurelia sehr stark bevölkerten Flüssigkeit bis auf eine zwei mm grosse

---

[79]) Aderhold: „Beitrag zur Kenntniss richtender Kräfte bei der Bewegung niederer Organismen". Jen. Zeitschr. f. Nat. 1888.

Luftblase gefüllt und über Quecksilber aufgehängt, so dass die Flüssigkeit vollkommen von der Luft abgeschlossen war. Nach Verlauf von 1½ Tagen war die Luftblase vollständig verbraucht und die Paramaecien begannen bald, sich langsamer zu bewegen, was leicht mit der Lupe zu beobachten war. Am dritten Tage wurde nun eine Blase reinen Sauerstoffs von unten her in das Reagenzglas hineingelassen, und es dauerte nur wenige Secunden, so begann dieselbe sicb mit einem dicken weissen Saum von dichtgedrängten Paramaecien zu umgeben, welche von Sauerstoff-Durst getrieben wild auf die Sauerstoffblase losstürmten. Führt man den Versuch im kleinen Raum unter dem Mikroskop aus, so kann man direct die chemotropische Wirkung des Sauerstoffs beobachten.

Anderen Stoffen gegenüber hat PFEFFER Ciliate-Infusorien nicht cbemotropisch gefunden, und auch ich habe den scheinbaren positiven Chemotropismus, welchen ich anfangs bei Spirostomum ambiguum und Paramaecium aurelia beobachtet zu baben glaubte, bei genauerer Untersucbung als ein rein mechanisches Festhaften an klebrigen Stoffen erkannt, an welcbe die Protisten bei ibren lebhaften Bewegungen nach und nach in grösserer Zahl angeschwommen waren, ohne wieder loszukommen. Dagegen ist negativer Chemotropismus schädlichen Stoffen gegenüber ziemlich verbreitet und lässt sicb einfacb auf die allgemeine Eigenscbaft der Ciliaten zurückführen, dass sie vor Reizen zurückzucken. So weichen z. B. Lacrymaria, Coleps, Halteria und viele andere Infusorien vor Lösungen von Salzen, Cbloroform, Aether etc. zurück, wenn sie nicht durch ibre stürmischen Bewegungen plötzlich gleich so weit in die Wirkungssphäre dieser Reize gekommen sind, dass sie sofort getödtet resp. gelähmt werden.

Im engsten Anschluss an die cbemotropischen Erscheinungen steht der von STAHL [80] entdeckte

Hydrotropismus

der Myxomyceten, der eigentlich als eine specielle Form des Cbemotropismus betracbtet werden muss. Diese Protisten haben nämlich die Eigenthümlichkeit, sicb an den feuchtesten Stellen ihres Substrats anzusammeln. Auf einer gleichmässig durchfeuchteten Unterlage von Fliesspapier unter einer Glasglocke breiten sich die Plasmodien von Aethalium septicum gleichmässig nach

[80]) Stahl: „Zur Biologie der Myxomyceten". In Bot. Zeitnng 1884.

allen Richtungen hin aus. Wird aber die Glasglocke entfernt und das Fliesspapier in trockene Luft gebracht, so zieht sich das Plasmodium nach den am längsten feucht bleibenden Stellen zu einzelnen Klümpchen zusammen, während die trockenen Stellen verlassen werden, eine Erscheinung, die STAHL als „positiven Hydrotropismus" bezeichnet im Gegensatz zu dem Verhalten der Plasmodien beim Uebergang in das Fructificationsstadium, wo sie umgekehrt die trockensten Stellen aufsuchen und die feuchten verlassen („negativer Hydrotropismus"). Ganz ähnlich sollen sich nach FAJOD[81] die Amoeben von Gattulina protea negativ hydrotropisch verhalten, indem sie beim Beginn der Sporenbildung aus der Flüssigkeit herauswandern.

Ein Rückblick auf die Wirkungsweisen chemischer Reize bei Protisten lässt also folgende Haupterscheinungen erkennen.

Was zunächst die unmittelbar sichtbaren Veränderungen am Protistenkörper betrifft, so äussern sich dieselben bei allen Rhizopoden in Contractionserscheinungen, die ihren Ausdruck im Einziehen der Pseudopodien, Kugligwerden, Zerbersten des Körpers, Auspressen von Körperinhalt etc. finden, alles Veränderungen, die ja auch bei Reizung durch andere Reize am Rhizopodenkörper sichtbar werden.

Am Infusorienkörper ist es vor allem die Wimperbewegung, welche beeinflusst, entweder beschleunigt oder verlangsamt wird; daneben erfährt auch der Rhythmus der Vacuolenthätigkeit Aenderungen, und die Formen, welche Myoïde besitzen, weisen Zuckungen dieser Organoïde auf, wobei die eventuell vorhandenen Trichocysten ausgepresst werden. Auffallend ist, dass manche Stoffe, die bei höheren Thieren ganz specifische Wirkungen hervorrufen, wie z. B. das bewegungslähmende Curare, ohne den geringsten Einfluss auf die Cilienbewegung sind, während sich z. B. durch Chloroform eine vollständige Narkose erzielen lässt, in der die Reactionsfähigkeit der Myoïde auf äussere Reize herabgesetzt resp. erloschen ist.

Ausser diesen unmittelbar hervortretenden Bewegungserscheinungen machen sich chemischen Reizen gegenüber noch manche Fähigkeiten bemerkbar, die von hohem Nützlichkeitswerth für die Protisten sind. So die grosse Anpassungs-

[81]) Fajod, In Bot. Zeit. 1883.

fähigkeit (Gewöhnungsfähigkeit) an gewisse chemische Stoffe und verschiedene Concentrationsgrade, deren Nutzen für die Erhaltung des Individuums auf der Hand liegt.

Vor allem aber ist in dieser Hinsicht bedeutungsvoll die Fähigkeit des Chemotropismus. Namentlich ist die chemotropische Wirkung des Sauerstoffs ungemein verbreitet, und es ist klar, dass wenn dieser Stoff den Protisten nicht stets als Leitstern diente, ein wichtiger Factor für die Erhaltung des individuellen Lebens gar oft in Frage gestellt würde, da ohne Sauerstoff absolut kein Leben möglich ist. Aehnlichen Werth hat die Fähigkeit der Myxomyceten, der Feuchtigkeit nachzugehen (Hydrotropismus), oder Stoffen, die zur Nahrung dienen (Trophotropismus), wie für Aethalium die Lohe, wohingegen die höchst merkwürdige Thatsache, dass manche Bacterien sogar direct schädlichen Stoffen folgen, in denen sie umkommen müssen, schlechterdings nicht mit irgend einem Utilitätsmoment in Beziehung gebracht werden kann, besonders da manche dieser Stoffe unter den gewöhnlichen Lebensverhältnissen der betreffenden Protisten überhaupt gar nicht vorkommen. Es wird diese eigenthümliche Erscheinung später noch von einer anderen Seite ihre Beleuchtung finden.

F. Bewegungen auf galvanische Reize.

Wenn man von einzelnen zerstreuten Bemerkungen in der Litteratur absieht, wie sie z. B. Max Schultze [82]) gelegentlich macht, der die Pseudopodien der Milioliden auf elektrische Reizung varikös und eingezogen werden sah, haben nur Kühne und Engelmann etwas eingehender den Einfluss galvanischer Ströme auf die Bewegungen der Protisten untersucht.

1. Rhizopoden.

An Amoeba diffluens fanden Kühne [83]) und Engelmann [84]) im ganzen übereinstimmende Resultate. Auf schwache Inductionsschläge stockt nach einem kurzen Stadium la-

[82]) Max Schultze: „Das Protoplasma der Rhizopoden und der Pflanzenzellen". Leipzig 1863.

[83]) W. Kühne: „Untersuchungen über das Protoplasma und die Contractilität". Leipzig 1864.

[84]) Engelmann: „Beiträge zur Physiologie des Protoplasma". In Pflügers Arch. Bd. 2. 1869.

tenter Reizung (ENGELMANN) die Körnchenbewegung und die Locomotion eine kurze Zeit, um dann wieder in normaler Weise fortgesetzt zu werden. Sind die Inductionsschläge stärker, so kommt es znr Annahme der Kugelgestalt ebenfalls mit Unterbrechnng der anderen Bewegungen, bis nach einiger Zeit wieder Pseudopodien gebildet werden. Bei ganz starken Inductionsschlägen findet Annahme der Kugelgestalt statt, die Kugel zerplatzt und es tritt „ein wurstförmiges Gerinnsel hervor, das fast immer den Kern mit sich führt" (KÜHNE). Ganz ähnlich ist die Wirkung von constanten Strömen, indem bei geringerer Intensität nur unvollkommene, bei stärkerer vollkommene Kugelgestalt angenommen wird.

Arcella vulgaris, welche ENGELMANN als Untersuchungsobject diente, verhielt sich im wesentlichen ebenso. Dabei trat die interessante Erscheinung hervor, dass bei den Contractionen des Körpers die Gasblasen im Innern desselben, welche vorher unregelmässig eckige Gestalt hatten, sämmtlich rund wurden und bald nach der Reizung an Volumen abnahmen, bezugsweise ganz verschwanden. Letzterer Vorgang bewirkte dann ein Sinken der durch die Gasblasen im Wasser schwebend erhaltenen Arcellen, die indessen bald wieder neue Blasen bildeten und sich so von neuem vom Boden erhoben.

Bei Myxomyceten constatirte KÜHNE auf galvanische Reizung ebenfalls Contractionserscheinungen des Körpers resp. der getroffenen Theile desselben, und ebenso sah ENGELMANN [85]) an Pelomyxa lokale Contractionserscheinungen auftreten.

Sehr interessante Beobachtungen machte KÜHNE an Actinosphaerium Eichhornii, welche im höchsten Maasse auffallend sind, da sie dem für allgemein gültig gehaltenen Zuckungsgesetz, welches an den reizbaren Geweben höherer Thiere entdeckt wurde, direct widersprechen. Wurde Actinosphaerium durch den Inductionsstrom tetanisirt, so zeigten die Pseudopodien, welche nach den beiden Elektroden gerichtet waren, bald Varicositäten, indem das Protoplasma auf den Axenstrahlen sich zu kleinen Kügelchen und Spindeln ansammelte, unter welchen Erscheinungen die betroffenen Psendopodien allmählig ganz eingezogen wurden. Es trat also an beiden Polen der typische oben beschriebene Retractionsvorgang ein. Nach

[85]) Engelmann: „Ueber Reizung contractilen Protoplasmas durch plötzliche Beleuchtung". In Pflügers Arch. Bd. 19.

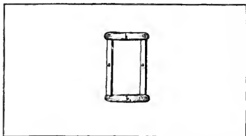
Einziehung der Pseudopodien an den beiden Polen ging aber die Contraction weiter, indem die Oberfläche hier einzuschmelzen begann, während die Blasen der Rindenschicht zerplatzten. Die senkrecht zur Stromesrichtung stehenden Pseudopodien wurden dabei gar nicht betroffen. Nach Oeffnung des Stromes stand der Process still und das Protist ergänzte sich nach einiger Zeit wieder zu einem vollständigen Actinosphaerium. Die besonders auffallende Erscheinung zeigte sich aber bei Anwendung des constanten Stromes. Hier sah KÜHNE im Augenblick der Schliessung sowohl an der Anode als an der Kathode die Retraction der Pseudopodien und den Einschmelzungsprocess beginnen, mit dem Unterschiede während der weiteren Dauer des Stromes, dass der Process an der Kathode sofort wieder aufhörte, an der Anode dagegen immer weiter fortschritt, bis der Strom geöffnet wurde, wobei sich wiederum an der Kathode eine Contractionserscheinung zeigte. KÜHNE bezeichnet die Veränderungen an den beiden Polen mit Recht als Zuckung, denn sie haben den typischen Charakter aller Contractionen bei Actinosphaerium. Die Schliessungszuckung an der Kathode glaubt nun KÜHNE für eine willkürliche Bewegung halten zu müssen, da er sie ausbleiben sah, wenn er die Protisten sich allmählig in den Strom einschleichen liess. Es entsteht also nach ihm bei Actinosphaerium bei der Schliessung des constanten Stromes die Erregung nur an der Anode und bei der Oeffnung des Stromes nur an der Kathode, eine Erscheinung, die im geraden Gegensatz zu dem allgemeinen Gesetz der polaren Erregung steht, nach welchem stets bei der Schliessung die Erregung von der Kathode, bei der Oeffnung von der Anode ausgeht.

Mir schien, besonders da diese schon 1864 gemachte Beobachtung KÜHNES die einzige in der ganzen Litteratur der contractilen Substanzen ist, welche dem genannten Gesetz geradezu widerspricht, die Angelegenheit einer erneuten Untersuchung werth zu sein*). Meine Versuche, die ich mit unpolarisirbaren Elektroden von der untenstehenden Form (Fig. 16) anstellte, hatten indessen wesentlich das gleiche Ergebniss, nur dass ich mich genöthigt sah, die Kathodenerregung bei der

*) M. Verworn: „Die polare Erregung der Protisten durch den galvanischen Strom". In Pflügers Arch. Bd. 45. 1889.

Stromschliessung, welche KÜHNE als eine willkürliche Bewegung auffasste, ebenso wie die Anodenerregung als ein constantes Moment der Erregung aufzufassen.

Fig. 16.



Auf einem Objectträger sind 2 poröse Thonleisten, a u. a, mit einem Kitt von Kolophonium und Wachs festgeklebt und an ihren Enden durch je einen Wall von Kitt, b u. b, verbunden, so dass ein Kästchen entsteht, welches die Flüssigkeit mit dem Untersuchungsobject aufnehmen kann. Den Thonleisten wird der Strom durch zwei Pinselelektroden zugeführt.

Dies Ergebniss veranlasste mich nun zu untersuchen, ob die betreffende Erscheinung etwa unter den Protisten weiter verbreitet ist. Leider eignen sich nur wenig Objecte für eine solche Untersuchung, und ich musste mich daher wegen Mangels an anderem Material hauptsächlich auf die allerdings äusserst geeignete Pelomyxa palustris beschränken. Hier erhielt ich das gleiche Resultat wie an Actinosphaerium, mit dem einzigen Unterschiede, dass keine Kathodenzuckung bei der Schliessung des Stromes vorhanden war. Aber eine andere höchst merkwürdige Erscheinung beobachtete ich noch an Pelomyxa, nämlich die, dass bei ganz kurzen constanten Strömen und bei einzelnen Inductionsschlägen die Schliessungserregung an der Anode nicht zur Entwicklung kommt, sondern dass nur die Oeffnungserregung an der Kathode eintritt. Eine weitere Untersuchung an anderen geeigneten Rhizopodenformen würde gewiss noch eine ganze Anzahl höchst interessanter Thatsachen liefern. Uebrigens sind diese Erscheinungen in psychologischer Hinsicht von untergeordneter Bedeutung, so dass es nicht angebracht ist, auf ihre Einzelheiten weiter einzugehen.

2. Ciliaten.

Wichtig sind für den vorliegenden Zweck die Versuche, welche ich an Ciliaten-Infusorien angestellt habe. Sowohl der constante als der Inductionsstrom beeinflusst zunächst die Wimperbewegung der Ciliaten, doch ist die Beobachtung der Wirkung mit grossen Schwierigkeiten verknüpft, weil die Ciliaten nie still an einem Ort liegen bleiben, und sogar die sonst festsitzenden Formen sich meist von ihren Anheftungspunkten losreissen. Der Effect der galvanischen Reizung scheint, soweit mir die Beobachtung gelang, eine Beschleunigung der Wimperbewegung bei kleinerer Amplitude zu sein, wobei die Wimpern häufig um eine andere Mittellage schwingen, als unter normalen Verhältnissen. So schlägt z. B. Stentor seine Peristomwimpern, die sonst von der Peristomfläche nach aussen gerichtet sind, bei Schliessung des Stromes mit schwacher Krümmung etwas nach innen um, in welcher Lage sie nun zu schwingen fortfahren.

Eine andere Wirkung des galvanischen Stromes äussert sich in der plötzlichen Contraction der Myoïde, wo solche überhaupt differenzirt sind, sowie in dem dadurch bewirkten Zusammenzucken des Körpers (Fig. 17c). Dabei ist der Werth der unteren Reizschwelle für verschiedene Formen verschieden. Z. B. reagirt Stentor schon auf viel schwächere Ströme als Carchesium. Während der Dauer des Stromes bleiben die Protisten in der Regel im Zustande der Contraction, nur wenn der Strom schwach ist, findet meist während der Dauer desselben nach einiger Zeit wieder eine vollständige Streckung der Stentoren statt. Eine Oeffnungszuckung habe ich in diesem Falle nie gesehen. Eine Streckung während der Stromdauer trat auch öfter bei schwachen Inductionsströmen ein.

Die Untersuchungen über den Einfluss des galvanischen Stromes auf die Bewegungen, welche sich am Ciliatenkörper selbst abspielen, müssen indessen noch bedeutend weiter ausgedehnt werden, um fernere allgemeine Resultate zu ergeben; für die Thätigkeit der Myoïde werden sich dabei wohl im wesentlichen diejenigen Gesetze herausstellen, welche die heutige Muskelphysiologie in so ausführlicher und exacter Weise für den quergestreiften Muskel der höheren Thiere nachgewiesen hat.

Eine höchst interessante Wirkung des galvanischen Stromes habe ich jedoch noch gefunden, die ich wegen ihrer Beziehungen zu den entsprechenden Erscheinungen aus dem Gebiet anderer Reize etwas weiter verfolgt habe. Es ist dies eine den richtenden

Wirkungen der übrigen schon besprochenen Reize analoge Erscheinung, der

Galvanotropismus *).

Bringt man auf einen Objectträger mit zwei unpolarisirbaren Elektroden von der in Fig. 16 angegebenen Form einen Tropfen, der Paramaecium aurelia in möglichst grosser Individuenzahl enthält, zwischen die Elektroden, und schliesst dann den constanten galvanischen Strom durch einen zwischen die Kette und das Object eingeschalteten Quecksilberschlüssel, so sieht man schon makroskopisch im Augenblick der Schliessung sämmtliche Paramaecien die Anode verlassen und als dichter Schwarm auf die Kathode zu eilen, wo sie sich in grossen Massen ansammeln. Nach wenigen Secunden ist der übrige Theil des Tropfens vollkommen leer von den Protisten und nur die kathodische Seite desselben zeigt ein dichtes Gewimmel von ihnen. Hier bleiben sie während der ganzen Dauer des Stromes. Wird nun der Strom geöffnet, so sieht man den ganzen Schwarm wieder die Kathode verlassen und in der Richtung nach der Anode hinüberschwimmen. Diesmal findet keine vollkommene Ansammlung an der Anode statt, sondern ein Theil der Protisten bleibt gleichmässig im Tropfen zerstreut, anfangs jedoch ohne der Kathode näher zu kommen, was erst ganz allmählig einige Zeit nach der Stromöffnung geschieht. Schliesslich sind wieder alle Protisten gleichmässig im Tropfen vertheilt. Diesen höchst exakten Versuch kann man ohne Beeinträchtigung seiner Deutlichkeit beliebig oft hinter einander machen und auch jeden Augenblick unterbrechen. Das Verhalten der Paramaecien bleibt dabei immer das gleiche, gesetzmässige.

Nach der vorstehenden Beschreibung könnte man geneigt sein, diese Erscheinung für das sogenannte „Porret sche Phänomen“ zu halten, d. h. für eine „kataphorische Wirkung“ des galvanischen Stromes, wie es Du Bois-Reymond nennt, welche in einem passiven Fortgeführtwerden der Wassertheilchen und suspendirter, kleiner Körperchen durch den galvanischen Strom besteht. Dann wäre also die beschriebene Erscheinung gar keine eigentliche Lebenserscheinung.

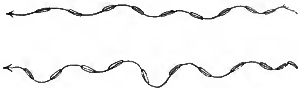
Diese Vermuthung kann jedoch vollständig ausgeschlossen werden. Denn einerseits tritt der Galvanotropismus der Para-

*) M. Verworn: „Die polare Erregung der Protisten durch den galvanischen Strom“. In Pflügers Arch. Bd. 45. 1889.

maecien schon bei verhältnissmässig schwachen Strömen auf, bei denen ich an sehr viel kleineren im Wasser suspendirten Theilchen, wie Blutkörperchen vom Menschen, Stärkekörnchen, kleinen Algensporen etc., noch nicht die geringste Spur einer kataphorischen Wirkung bemerken konnte, andrerseits macht das Porretsche Phänomen, wie ich es z. B. an sehr kleinen runden unbeweglichen Algensporen bei stärkeren Strömen bemerkte, einen ganz anderen Eindruck, indem hierbei die Bewegung ganz langsam, dort ganz schnell, hier in den oberen und unteren Wasserschichten nach entgegengesetzter Richtung, dort stets ohne Ausnahme in derselben Richtung geschieht. Ganz sicher aber konnte der Galvanotropismus als Lebenserscheinung nachgewiesen werden, indem ich die Paramaecien ätherisirte und so ihre Wimperbewegung aufhob. In diesem Zustande fand nicht die geringste Bewegung nach einem Pole hin statt, was doch der Fall sein müsste, wenn die Bewegung eine passive wäre. Die Bedeutung des Galvanotropismus als eine Lebenserscheinung steht somit ausser allem Zweifel.

Dieselbe Thatsache wird auch durch die mikroskopische Betrachtung, oder noch besser durch die Betrachtung dieser ziemlich grossen Objecte durch eine stärkere Lupe weiter bestätigt. Hierbei bemerkt man nämlich, dass im Augenblick der Schliessung des Stromes plötzlich alle Paramaecien ihr vorderes Ende der Kathode zuwenden und nun diese Richtung ihrer Körperaxe beibehalten mit nur unbedeutenden Schwankungen nach seitwärts, die sich aus der Art des Schwimmens dieser Protisten erklären. Sie bewegen sich nämlich in der Weise, dass sie beim Vorwärtsschwimmen ihren vorderen Körperpol immer abwechselnd etwas nach rechts und dann wieder nach links von der geraden Richtung abwenden, wodurch eine wellenförmig um die gerade Richtung verlaufende Bahn zu Stande kommt (Fig. 18), die nur ganz minimale Unregelmässigkeiten

Fig. 18.

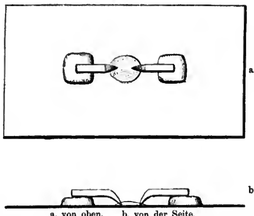


bemerken lässt. Am reinsten wird die Form der Bahn bei etwas stärkeren Strömen, während bei allzu schwachen häufig einzelne Individuen grössere Abweichungen von der geraden Bahn aufweisen.

Sind die Paramaecien an einem Pole angelangt, so schwimmen sie gegen die betreffende Elektrode an, gehen dann wieder etwas zurück, tummeln sich in der dichtesten Nähe der Elektrode umher, schwimmen wieder an, und so fort, wodurch ein lebhaftes Durcheinanderwimmeln an der betreffenden Elektrode entsteht.

Ein sehr interessanter Anblick zeigt sich übrigens, wenn man statt der parallelen Leistenelektroden von der in Fig. 16 angegebenen Form zwei spitze Elektroden von der Form Fig. 19

Fig. 19.

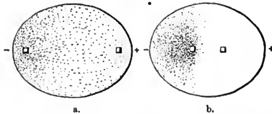


a. von oben. b. von der Seite.
Die zugespitzten Thonleisten sind auf Kittklötze aufgekittet und reichen nur mit ihren Spitzen in den Flüssigkeitstropfen hinein.

anwendet, die nur mit ihren äussersten Spitzen in den Tropfen eintauchen. Alsdann bemerkt man, dass bei Schliessung des constanten Stromes alle Paramaecien, mit ihren Längsaxen in der eben beschriebenen Weise gerichtet, innerhalb der Stromkurven im Tropfen dem negativen Pole zuschwimmen (Fig. 20a), so dass man in einem einzelnen Moment kurz nach Stromschliessnng ein Bild erhält, wie es etwa Eisenfeilspähne darbieten, die auf ein Papierblatt über einen Hufeisenmagneten gestreut sind. Dabei macht man die merkwürdige Beobachtung,

dass, nachdem alle Paramaecien nach dem negativen Pol hinübergewandert sind, die grösste Anhäufung sich hinter, d. h. also jenseits des negativen Pols (vom positiven Pol aus gerechnet)

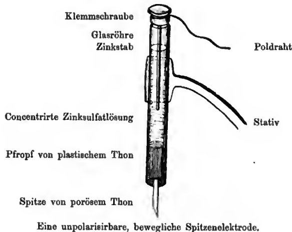
Fig. 20.



gebildet hat (Fig. 20b), und dass sich nur wenige an der andern Seite des Pols aufhalten. Wird der Strom nun geöffnet, so schwimmen die Protisten in der oben beschriebenen Weise wieder in der Richtung nach dem positiven Pol zurück, und zwar ebenfalls zuerst mit strenger Innehaltung der Stromkurven, bis allmählig die Bewegung und damit die Vertheilung im Tropfen wieder regellos wird.

Nimmt man statt der festgekitteten Spitzenelektroden zwei bewegliche von gebranntem Thon, wie in Fig. 21, so hat man

Fig. 21.



Eine unpolarisirbare, bewegliche Spitzenelektrode.

durch verschiedene Einstellung der beiden Spitzenpole im Tropfen die Bewegungen der Paramaecien vollständig in der Hand und kann diese Protisten nach Schliessung des constanten Stromes hindirigiren, wohin man sie zu haben wünscht, da sie immer der negativen Elektrode nachfolgen. Hat man z. B. nach Einstellung der negativen Elektrode die Protisten auf irgend einen Punkt geführt, so kann man sie von dort aus nach jedem beliebigen anderen Punkte lenken, wenn man die negative Elektrode auf denselben einstellt. Nach einigen Secunden hat man sie alle um dieselbe versammelt. Die betreffende Elektrode wirkt also wie eine Falle. Ich habe öfter diese Eigenschaft praktisch verwerthet, um die Protisten aus einem grösseren Gefäss, in welchem sie zerstreut waren, in grösserer Zahl nach einem einzigen Punkte zusammenzuführen, von wo ich sie dann in Menge entnehmen konnte; denn der Galvanotropismus äussert sich nicht blos im kleinen Tropfen, sondern die galvanischen Ströme sind selbst in den äussersten Kurven, welche an den Rändern einer Wassermasse von über 10 ccm Inhalt verlaufen, noch wirksam. Auch durch Wechselströme, die man etwa durch Umlegen einer in den Stromkreis eingeschalteten POHLschen Wippe erzeugt, kann man die Bewegungsrichtung der Paramaecien völlig beherrschen. Schnelle Wechselströme haben natürlich gar keine galvanotropische Wirkung, da sie die Bewegung nach der einen oder anderen Richtung überhaupt nicht aufkommen lassen.

Werden die unpolarisirbaren Elektroden durch einfache Kupferelektroden vertreten, so bekommt man um jede Elektrode einen sich immer weiter verbreitenden Hof von Zersetzungsproducten, welche auf die Protisten giftig wirken. Man kann sich leicht davon überzeugen, wenn man die Ciliaten in einen Tropfen setzt, durch den man mit Kupferelektroden vorher den Strom längere Zeit hatte durchgehen lassen. Die Ciliaten kehren alsdann um, wenn sie an die Sphäre der Zersetzungsproducte gekommen sind, falls sie nicht gleich zu stürmisch darauf losschwimmen. Sobald aber die Zersetzungsstoffe sich mehr im Tropfen vertheilen, sterben die Infusorien unter starker Axendrehung. Das gleiche tritt natürlich auch ein, wenn man den Strom aus Kupferelektroden gleich durch einen Tropfen mit Paramaecien schickt. Dabei zeigt sich, dass der Galvanotropismus durch die giftigen Stoffe nicht beeinträchtigt wird und dass die Protisten bei Stromschliessung in gewöhnlicher Weise

nach der Kathode binüber schwimmen, wo sie dann ihren sichern Tod finden. Sohald sie in den Wirkungskreis der giftigen Zersetznngsproducte kommen, tritt heschleunigte Axendrebung ein, ohne dass darum der Galvanotropismus aufhört, bis das Protist seine Bewegungen allmäblig ganz einstellt und todt auf der Stelle, meist noch vor dem Ziele liegen bleibt. Man kann sagen, dass sich die Protisten förmlich in ihr Verderhen stürzen, denn man siebt sie ohne Zögern in die giftige Sphäre eindringen. Nach kurzer Zeit der Einwirkung des Stromes sieht man dann alle Paramaecien ans dem ganzen Tropfen todt um die Kathode berumliegen. Ihr Ausseben zeigt die typischen, Seite 101 heschriehenen Todeserscheinungen. Der ganze Vorgang bildet ein Seitenstück zu dem von PFEFFER beschriebenen Chemotropismus der Bacterien nach direct schädlichen Stoffen.

Der Galvanotropismus scheint unter den Ciliaten sehr verbreitet zu sein, wenigstens habe ich ihn genau ehenso deutlich bei einer ganzen Reihe anderer Formen ausgeprägt gefunden, z. B. hei Coleps birtus, Colpoda cucullns, Stentor coeruleus, St. polymorphus, Halteria grandinella und anderen. Ganz typisch ist er bei Stentoren, welche beim Schwimmen in der Regel gar keine Aenderungen ihrer Längsaxenrichtung zeigen. Diese Ciliaten stellen bei Stromschluss genau ihre Längsaxe in die Richtung der Stromkurven ein, indem sie ibr Peristomfeld, d. b. also den vorderen Theil des Körpers nach der Kathode zu wenden und nun ohne die geringste Ahweichung von dieser Richtung auf die Katbode lossteuern. Der Körper ist dabei wie immer heim Schwimmen im Zustande theilweiser Contraction Fig. 17 h. Die für jede Form charakteristische Art der Vorwärtshewegung scheint also bei den Ciliaten beim Galvanotropismus gar nicht heeinträchtigt zu werden.

Von Flagellaten kam Cryptomonas erosa zur Untersuchung, wurde aher bisher nicht als galvanotropisch erkannt. Man ist leider bei der Untersuchung des Galvanotropismus sehr vom Material abbängig, da es durchaus nöthig ist, dass man von einer Protistenform immer eine grössere Individuenzahl im Tropfen hat, weil sonst die Erscheinung leicht übersehen werden kann.

Ueberblicken wir zum Schluss nocb einmal die Wirkungen galvanischer Reize auf die Bewegungen der Protisten, so finden wir auch hier wieder ganz dieselben Erscheinnngen wie im Wirkungs-

gebiet der früher besprochenen Reize. Die am Körper der Protisten selbst unmittelbar bemerkbaren Vorgänge äussern sich bei Rhizopoden wieder in vollkommenen oder lokalen Contractionserscheinungen, bei Ciliaten in Aenderungen der Wimperbewegung und Contractionen der Myoïde. Dazu kommt bei diesen letzteren Protisten schliesslich noch die Erscheinung des Galvanotropismus, d. h. der Fähigkeit, bei Schliessung des Stromes in der Richtung der Stromkurven von der Anode zur Kathode zu schwimmen. Ob es auch positiv und negativ galvanotropische Ciliaten giebt, das festzustellen muss späteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Alle Wirkungen des galvanischen Stromes auf Protisten sind aber deswegen besonders interessant, weil in ihnen schlechterdings keine Anpassung an irgend welche Lebensverhältnisse erblickt werden kann, denn schwerlich dürften jemals diese Protisten in ihrem gewöhnlichen Leben mit galvanischen Strömen von irgend nennenswerther Intensität in Berührung kommen, wenigstens nicht mit so starken, welche den unteren Schwellenwerth, bei dem die Protisten zu reagiren anfangen, erreichen, denn dieser hat für manche Formen schon eine beträchtliche Höhe.

Wirkungen der Schwerkraft.

Die unmittelbaren Wirkungen der Schwerkraft sind von manchen Autoren als Ausdruck psychischer Vorgänge angesehen und namentlich von den Pflanzenphysiologen den Reizwirkungen direct an die Seite gestellt worden. Dieser rein äusserliche Grund ist der einzige, welcher die Besprechnng derselben an dieser Stelle rechtfertigt, und ich möchte ausdrücklich hervorheben, dass die Schwerkraft nicht zu den eigentlichen Reizen gezählt werden kann.

Die Schwerkraft äussert sich bei den Protisten ganz ihrer rein physikalischen Wirkungsweise entsprechend. Dass Protoplasmakörper von grösserem specifischen Gewicht als Wasser zu Boden sinken und am Boden leben, sowie dass leichtere an die Oberfläche steigen und sich hier aufhalten, ist ohne weiteres klar. Ein Abwechseln zwischen diesen beiden Fällen kann nun aus zwei Ursachen hervorgehen. Erstens natürlich aus einer abwechselnden Vermehrung und Verminderung des specifischen Körpergewichts, und diesen Fall zeigen die Radiolarien, denen ihr nur um eine minimale Grösse vom 0-Pnnkt abweichendes specifisches

Gewicht dabei zu Statten kommt. BRANDT [86]) hat nachgewiesen, dass Contractionen des Körpers genügen, um eine Erhöhung des specifischen Gewichts zu erzielen, welche im Stande ist, die Protisten sinken zu lassen. Die Wirkung der Schwerkraft während des Schwebens der Radiolarien kommt dann ferner in der Stellung zum Ausdruck, welche diese Protisten im Wasser einnehmen, indem specifisch schwerere Theile des Körpers nach unten, specifisch leichtere nach oben gerichtet sind, eine Schwerkraftwirkung, die auch bei der Entwicklung des Skelets eine grosse Rolle spielt, und die HAECKEL [87]) neuerdings als den Ausdruck des „hydrostatischen Gleichgewichts-Gefühls" der Radiolarien bezeichnet hat.

Zweitens kann ein Steigen und Fallen bei specifisch schwereren Organismen durch die Thätigkeit oder Ruhe ihrer Bewegungsorganoïde erzielt werden, wie dies bei Ciliaten der Fall ist.

Ebenfalls eine rein äusserliche physikalische Ursache scheint mir dem von SCHWARZ [88]) und ADERHOLD [89]) beobachteten Geotropismus der Flagellaten Euglena viridis, Chlamydomonas pulvisculus etc. zu Grunde zu liegen, trotz der gegentheiligen Versicherung ADERHOLDS, die er leider nicht weiter begründet hat. Dass bei vollständigem Stillstand der Geissel das hintere Ende des Protists im Fallen nach unten gerichtet ist, und nicht das vordere geisseltragende, erscheint mir aus rein physikalischen Gründen ganz selbstverständlich. Denkt man sich nun ein solches Individuum seine Geissel bewegend, so muss es sich im ganzen, da beim Schwimmen die Geissel vorangerichtet ist, bei nicht allzu starker Thätigkeit derselben nothwendig nach der Oberfläche des Wassers, also der Schwere entgegen bewegen. Wenn die Geissel stark schlägt, werden die gelegentlichen Abweichungen von dieser Richtung natürlich entsprechend grösser sein. Eine directe Wirkung der Schwerkraft als Reiz ist mir

---

[86]) C. Brandt: „Die coloniebildenden Radiolarien des Golfes von Neapel und der umliegenden Meeresabschnitte". Berlin 1885.

[87]) Haeckel: „Grundriss einer allgemeinen Naturgeschichte der Radiolarien. 2. Theil der Monographie der Radiolarien". Berlin 1887.

[88]) F. Schwarz: „Der Einfluss der Schwerkraft auf die Bewegungsrichtung von Chlamydomonas und Euglena". In Sitzungsber. d. deutsch. Bot. Gesellsch. Bd. II Heft 2.

[89]) Aderhold: „Beitrag zur Kenntniss richtender Kräfte bei der Bewegung niederer Organismen". In Jenaische Zeitschr. f. Naturw. 1888.

schon deshalb nicht denkbar, weil die Schwerkraft eben gar nicht mit Reizen verglichen werden kann. Höchstens könnte man die durch sie beim Fallen bewirkte Reihung des Protistenkörpers mit den Wassertheilchen als einen die Bewegungsrichtung beeinflussenden mechanischen Reiz auffassen, was gar nicht so auffällig wäre, da man ja bei der Erscheinung des Rheotropismus solche geringen Reize als wirksam kennen gelernt hat.

Vergleichender Rückblick auf die Reizbewegungen.

Die Versuche über den Einfluss von Reizen auf die Bewegungen der Protisten ergeben, dass fast alle Reizqualitäten, welche von den höheren Thieren empfunden werden, auch bei den Protisten bestimmte Reactionen hervorrufen, und es hat sich bei diesen Untersuchungen eine solche Fülle von Erscheinungen herausgestellt, dass es wohl im Interesse einer einheitlichen Auffassung derselben zweckmässig sein dürfte, sich in einem vergleichenden Ueberblick über ihre Ergebnisse die mannigfachen Analogieen aus den Gebieten der einzelnen Reize klar zu machen.

Allen Reizqualitäten gegenüber bestehen für jede Protistenform verschiedene Werthe der unteren und oberen Reizschwelle, d. h. die Grenzen, innerhalb welcher eine Wirkung der betreffenden Reize auftritt, sind für jede Protistenform andere. Akustische Reize haben sogar überhaupt keine und Licht und manche chemische Reize nicht auf alle Protisten eine Wirkung, während die andern Reize auf sämmtliche Protisten wirken, einige in jeder Intensität, andere erst von einer verhältnissmässig hohen Intensitätsgrenze an.

Innerhalb dieser Grenzen äussern sich alle Reizqualitäten fast ohne Ausnahme an einer bestimmten Protistenform in der gleichen Weise, und zwar Bewegung erzeugend, verändernd oder hemmend. Bei denjenigen Formen, die eine nackte protoplasmatische Körperoberfläche haben, wie die Rhizopoden, äussert sich die Reizwirkung im allgemeinen in Retractionen der Pseudopodien, die jede einzelne Form charakterisiren. So nimmt z. B. Amoeba bei allen überhaupt wirksamen Reizen mehr oder weniger vollkommene Kugelgestalt an, und Actinosphaerium zeigt die Retraction seiner Pseudopodien unter den charakteristischen, Seite 80 beschriebenen Erscheinungen (vergl. Taf. II), mögen nun mechanische, galvanische, chemische oder Wärmereize

auf das Protoplasma einwirken. Bei Formen, die von mehr oder weniger dicken Hüllen mit differenzirten formbeständigen Organoïden begrenzt sind, wie Flagellaten, Ciliaten etc., zeigen sich die Reizwirknngen durchweg in Veränderungen des Wimperschlages (Beeinflussung der Schnelligkeit desselben, plötzlichen Schlägen der Wimpern in entgegengesetzter Richtung, Sprung- und Schnellbewegungen etc.) und in Contractionen der Myoïde. Letzteres ist z. B. an Stentor als Folge der verschiedenen Reize leicht zu beobachten.

Eine Wirkungsweise, welche allen Reizqualitäten gemeinsam ist, repräsentiren die tropischen Erscheinungen, der Heliotropismus, Thermotropismus, Thigmotropismus (incl. Rheotropismus), Chemotropismus (incl. Hydrotropismus und Trophotropismus) und Galvanotropismus. Bei diesen richtenden Wirkungen spielt die Intensität des Reizes eine grosse Rolle, indem die positive resp. negative Bewegungsrichtung in vielen Fällen davon abhängt, wie bei den photometrischen und chemometrischen Protisten. Uebrigens ist zu vermuthen, dass speciell darauf gerichtete Untersuchungen auch im Gebiete der anderen Reize diesen metrischen analoge Erscheinungen auffinden werden, etwa Thermometrie, Galvanometrie etc. Im Wirkungskreise des Lichts kommt ferner noch die ausschliessliche Bedeutung gewisser Farben in Betracht, welche allein heliotropische Wirkung erzielen.

Bei vielen Protisten ist endlich manchen Reizqualitäten gegenüber eine weitgehende Anpassungsfähigkeit an die Reizung hervorzuheben, die bisweilen in ungemein kurzer Zeit in Wirksamkeit tritt.

Die zahlreichen specielleren Erscheinungen, welche sich an die eben genannten Haupterscheinungen in allen oder einzelnen Reizsphären anschliessen, sollen hier nicht wieder aufgeführt werden, dagegen dürfte ein Hinweis auf den Nützlichkeitswerth der angeführten Bewegungserscheinungen für die Erhaltung des individuellen Lebens, also ein Hinweis auf die Zweckmässigkeit des grössten Theils dieser Bewegungen insofern Interesse haben, als dadurch vielleicht die Vermuthung erweckt werden kann, dass diesen Reizbewegungen höhere psychische Processe als unmittelbare Ursache zu Grunde liegen.

Schon die einfachen Contractionen der nackten Protoplasmakörper besitzen entschieden eine bedeutende Zweckmässigkeit, indem das Protist sich dadurch entweder der Reizquelle entzieht oder einem schädlichen Reize (durch Annahme der Kugel-

form, Einziehung der Pseudopodien etc.) eine möglichst kleine Oberfläche darbietet.

Ebenso dienen die Zurückschnellbewegungen der Flagellaten und Ciliaten (durch Wimperschläge oder Contractionen des Körpers und seiner Myoïde etc.) sowie die Beschleunigung der Wimperbewegung ebenfalls dem Zweck (s. v. v.) diese Protisten dem Wirkungskreise schädlicher Reize zu entführen.

Diese Tendenz sowie die umgekehrte, eine Reizquelle aufzusuchen, die für die Erhaltung des Lebens von Nutzen ist, spricht sich noch deutlicher aus in den tropischen Erscheinungsreihen, welche direct darauf hinzuweisen scheinen, dass diese Reize bei den Protisten bewusste unangenehme resp. angenehme Empfindungen wachrufen, die sie veranlassen, mit Ueberlegung der Quelle dieser Reize zu entfliehen oder nachzugehen. Dafür würde namentlich auch die Umkehr des positiven Heliotropismus in den negativen bei steigender Lichtintensität, d. h. also die Eigenschaft der Photometrie sprechen, indem der vorher angenehme Empfindungen verursachende milde Reiz bei seiner Verstärkung umgekehrt unangenehm zu werden beginnt. Auch die Vorliebe für bestimmte Farben, unter denen die Protisten wie, z. B. Bacterium photometricum, förmlich auswählen, könnte aus bewusster Empfindung entspringend gedacht werden.

So liesse sich noch eine grosse Fülle von Momenten aus den Reizbewegungserscheinungen anführen, welche geeignet sind, den Gedanken zu erwecken, dass ihnen höhere psychische Thätigkeiten zu Grunde liegen, wie es ja auch von vielen Autoren ausgesprochen worden ist. Alle diese Erscheinungen werden in Bezug auf die vorliegende Seelenfrage alsbald ihre Kritik finden, jedoch erst nachdem noch ein eventuell verwerthbares Material herbeigeschafft ist in einer kurzen Untersuchung der sensiblen Elemente, vermöge deren der Protistenkörper die besprochenen Reize aufnimmt.

Die sensiblen Elemente.

Die Empfindungen von den Dingen der Aussenwelt, welche das Material liefern, mit dem ein beliebiger Organismus in seinem Seelenleben operirt, aus dem er seine Vorstellungen, Gedanken, Ueberlegungen zusammensetzt und seine Willensäusserungen

herleitet, kurz welches die Grundlage seines gesammten unbewussten und bewussten Erkennens und Wollens bildet, dieses Elementarmaterial wird ihm allein durch die Sinnesorgane zugeführt und ist bekanntlich gänzlich von dem Bau und der Entwicklungsstufe derselben abhängig, so dass man von vornherein für viele Thiere rein aus der Beschaffenheit einzelner Sinnesorgane auf das Vorhandensein oder Fehlen gewisser Empfindungen und Vorstellungen und damit auf die Möglichkeit bestimmter höherer psychischer Vorgänge Schlüsse ziehen kann. Von diesem Gesichtspunkte aus kann eine Kenntniss der sensiblen Elemente der Protisten für die Beurtheilung des psychischen Lebens äusserst werthvoll erscheinen.

I. Licht.

Schon von EHRENBERG wurden die Pigmentflecke der grünen Flagellaten als Augen betrachtet, und seitdem ist über ihre Bedeutung für die Lichtempfindung viel gestritten worden. In der That liegt die Vermuthung sehr nahe, dass man in dem rothen Stigma, das bei verschiedenen Formen verschiedene Grade der Entwicklung repräsentirt, vom einfachen undifferenzirten Pigmentfleck bis zu jenen Gebilden mit förmlicher Linse, wie sie POUCHET[90]) und KÜNSTLER[91]) neuerdings gefunden haben, ein Organoïd für die Lichtperception vor sich hat. Dagegen sprechen indessen wieder andere Beobachtungen, wie die von ENGELMANN[92]), der an Euglena die Wirkung des Lichts resp. der Dunkelheit schon auftreten sah, ehe die Protisten mit dem Pigmentfleck die Grenze von Hell und Dunkel berührt hatten. Auch ist die Deutung dieser Pigmentflecke als sogenannte „Wärmeaugen“ mit der Thatsache schwer zu vereinigen, dass gerade die am wenigsten Wärmestrahlen enthaltenden Farben des Spectrums sich als die wirksamen erweisen, während der warme Theil des Spectrums die Bewegungen gar nicht beeinflusst. Ohne indessen die Frage nach der Bedeutung dieser Organoïde als lichtpercipirende Elemente an dieser Stelle entscheiden zu wollen, möchte ich nur darauf hinweisen, dass zahlreiche Protistenformen

---

[90]) Pouchet: „D'un oeil véritable chez les Protozoaires“. In C. R. Soc. Biol. No. 36.

[91]) Künstler: „Les yeux des infusoires flagellifères“. In Journ. Micr. Paris 10 année.

[92]) Engelmann: „Ueber Licht- und Farbenperception niederster Organismen“. In Pflügers Arch. Bd. 29.

ohne Pigmentfleck oder ein sonstiges lichtpercipirendes Organoïd sich dem Licht gegenüber ganz genau so verhalten wie die Formen mit Pigmentfleck, so dass man nothwendig annehmen muss, dass dem ganzen Protoplasmakörper die Fähigkeit auf Lichtreize zu reagiren inne wohnt.

II. Wärme.

Für Wärmeperception sind noch gar keine differenzirten Organoïde bei irgend welchen Protistenformen vorhanden, denn die Bedeutung der Pigmentflecke als „Wärmeaugen" fällt nach der obigen Bemerkung natürlich fort. Vielmehr besitzt in allen Protistenklassen jeder einzelne Theil des Protoplasmas die Fähigkeit auf Wärme zu reagiren, wie ja überhaupt die Wärmereactionsfähigkeit eine allgemeine Eigenschaft allen Protoplasmas ist.

III. Mechanische Reize.

Auch gegen mechanische Reize besitzt jedes Protoplasma Reactionsfähigkeit, die indessen nicht immer allen Theilen des Körpers in gleichem Maasse zukommt. Das führt zu den ersten Differenzirungen von Organoïden für die Perception solcher Reize.

Bei den Rhizopoden, wenigstens den niedrigsten, sind noch alle Körpertheile gleichmässig reizbar, so dass hier jeder Theil des Protoplasmas in sich die Eigenschaft des Sinnesorgans, des Centralorgans und des contractilen Bewegungsorgans, sowie der Reizleitung vereinigt. Möglicher Weise jedoch ist bei manchen Formen das Protoplasma der äusseren Körperoberfläche schon etwas reizbarer als die übrigen Theile, wie dies HAECKEL[93]) neuerdings von den Radiolarien annimmt, wo er dem Exoplasma (Sarcomatrix und Pseudopodien) die Function eines Sinnesorgans und peripherischen Nervensystems und dem Endoplasma, d. h. der Centralkapsel, die Function des Centralorgans (einer Ganglienzelle) zuzuschreiben geneigt ist.

Bei den Protisten, welche differenzirte äussere Körperanhänge besitzen, wie die Flagellaten und Ciliaten etc., haben diese eine bedeutend grössere Reizbarkeit als das Protoplasma des gesammten übrigen Körpers, besonders dessen Oberfläche, die ja durch die Pellicula von der Umgebung abgegrenzt erscheint.

---

[93]) Haeckel: „Grundriss einer allgemeinen Naturgeschichte der Radiolarien. Zweiter Theil der Monographie der Radiolarien". Berlin 1887.

Bei den Flagellaten ist die Geissel als das sensible Element zu betrachten, und man hat in Formen wie Poteriodendron petiolatum (Fig. 13, Seite 87) den Typus einer echten Neuromuskelzelle im Sinne KLEINENBERGS vor sich, bei der die Geissel vorwiegend die Function des Sinnesorgans, der Protoplasmakörper die des Centralorgans und das Myoïd die des motorischen Endorgans versieht. Besondere Organe für die centripetale und centrifugale Reizleitung sind hier nicht nöthig, da alle drei Theile selbst leitend sind und in einander übergehen, in Folge dessen also eines leitenden Verbindungsgliedes nicht bedürfen. Es soll übrigens noch hervorgehoben werden, dass die betreffenden drei Theile nur vorwiegend die ihnen zugeschriebene Function besitzen, daneben jeder aber auch noch in gewissem Grade die Function beider anderen; an eine so vollständige Differenzirung wie bei höheren Thieren ist hier noch ebenso wenig zu denken, wie bei den entsprechenden Theilen der Radiolarien.

Bei den Ciliaten sind es im allgemeinen auch die Wimpern, welche vorwiegend die Function der Reizbarkeit übernommen haben, während das Körperprotoplasma, besonders das Endoplasma in viel geringerem Grade reizbar ist. Letzteres zeigt die Beobachtung, die schon GRUBER[94]) machte und die ich oft bestätigen konnte, dass nämlich bei Stentoren, welche grössere Thiere, wie Rotatorien etc., gefressen hatten, diese Nahrungsorganismen die ungestümsten Bewegungen im Endoplasma ausführen können, ohne dass darauf die geringste Reaction von Seiten des Stentor erfolgt. In vielen Fällen sind jedoch auch unter den Wimpern desselben Ciliatenkörpers noch Differenzen in Bezug auf die Reizbarkeit zu bemerken, so z. B. bei den Hypotrichen, bei denen die Peristomwimpern entschieden reizbarer sind als die Bauchwimpern, mit denen diese Ciliaten ihre Laufbewegungen ausführen. Ueberhaupt scheinen im allgemeinen die Peristomwimpern, wohl schon in Folge ihrer Lage am Vordertheil des Körpers, gegenüber den anderen höhere Reizbarkeit zu besitzen, wie bei Halteria gegenüber den weniger reizbaren Sprungwimpern, wogegen bei Pleuronema wieder die starren Sprungwimpern zugleich die reizbarsten Elemente des Körpers sind und so die Function eines Sinnes-

[94]) A. Gruber: „Beiträge zur Kenntniss der Physiologie und Biologie der Protozoen". In Ber. d. naturf. Ges. z. Freiburg i/B. 1886.

organs und eines motorischen Endorgans in sich vereinigen. Dass aber alle starren, borstenförmigen Wimpern bei den Ciliaten besonders vor den andern Wimpern durch ihre Reizbarkeit ausgezeichnet sein, und direct nur als Sinnesorganoïde für die Perception von mechanischen Reizen dienen sollen, wie es MAUPAS, GÉZA ENTZ und BÜTSCHLI annehmen, muss ich auf Grund zahlreicher Beobachtungen bestreiten. Ebensowenig kann ich die langen gerade ansgestreckten Wimpern, welche bei Stentor Roeselii über den ganzen Körper zerstreut zwischen den gewöhnlichen Körperwimpern vertheilt stehen, für „Tastborsten“ halten, da ich oft bemerkte, dass Rotatorien, Ciliaten nnd andere kleine Organismen heftig gegen sie anschwammen, oder dass die Stentoren selbst mit ihnen an Gegenstände im Wasser anstiessen, ohne dass eine Reaction auf den Reiz eintrat. Vielmehr wurden die borstenförmigen Wimpern sogar umgeknickt. Dagegen wurden Wimperreactionen ausgelöst, wenn die Stentoren mit ihren Peristomwimpern beim Schwimmen an Fremdkörper im Wasser anstiessen. Mir ist danach die Fnnction dieser starren Wimpern bei Stentor Roeselii noch völlig unbekannt, keinesfalls aber sind sie specifische Tastorganoïde.

Interessant ist die Function der sogenannten Tentakel bei Mesodininm acarus (Taf. I Fig. 4, 5, 6), einer bisher noch selten beobachteten, in vieler Beziehung merkwürdigen Ciliatenform. Ich habe diese Protisten mehrere Monate im Glase lebend erhalten und zahlreiche Beobachtungen an ihnen gemacht. Die Tentakel dienen einerseits zum Anheften an Gegenstände im Wasser, andrerseits aber sind sie äusserst sensibel, zwei Eigenschaften, die man sich in demselben Organoïd nur schwer vereinigt denken kann. Schwimmt das Protist, wenn es dnrch Erschütterungen etwas erregt worden ist, im Wasser gegen irgend einen Gegenstand an, so tritt sofort ein Rückschlag seiner Wimpern ein, die in einem Gürtel von stets je 7×3 um den Körper angeordnet sind, und das Protist schnellt ein Stück zurück, um darauf nach einer anderen Richtung weiter zu schwimmen, bis es gelegentlich wieder irgendwo anstösst. Dass dabei die Tentakel die Function der Reizbarkeit haben, wird dnrch folgende Beobachtnng noch weiter bestätigt. Zuweilen fand ich nämlich Exemplare, welche keine Tentakel besassen (Fig. 6 Taf. I), die sie vermuthlich zurückgezogen hatten, wie CARTER nnd MERESCHKOWSKY es beobachteten. Diese Individuen konnten mit ihrem Mundkegel beliebig oft gegen Fremdkörper im Wasser anstossen,

ohne dass die geringste Reaction der Wimpern erfolgte. Hier entsprechen also die Tentakel den sensiblen und die Wimpern den motorischen Organen.

In ganz ähnlicher Weise wie bei Mesodinium vertreten die Tentakel bei den Acineten neben der Function eines Haft- und Fangapparats die eines sensiblen Organs, was allein natürlich noch nicht genügen würde, eine verwandtschaftliche Beziehung zwischen diesen beiden Protistenformen anzunehmen. Bei den Acineten ist die Reizbarkeit des Endknöpfchens der Tentakel sehr erklärlich, weil dies die einzigen Stellen des Körpers sind, wo nacktes Protoplasma zu Tage tritt. Die Reaction auf einen Reiz äussert sich hier im Vorgang des Ansaugens, d. h. einer Retraction des Protoplasmas innerhalb der Tentakelröhre.

In allen Fällen also, wo die einzelnen Theile des Protoplasmas nicht gleichmässig reizbar sind, ist stets die äussere Körperschicht sammt den ihr anhängenden Organoïden Sitz der grössten Reizbarkeit.

IV. Akustische Reize.

Für Gehörbläschen, wie sie bei wirbellosen Thieren vorkommen, wurden früher manche bläschenförmigen Körper mit Concrementen, z. B. bei Loxodes rostrum gehalten, die sich aber später als Gebilde von ganz anderer Bedeutung herausgestellt haben. Wir haben ja übrigens auch gesehen, dass von einer Wirksamkeit akustischer Reize bei Protisten eigentlich nicht die Rede ist.

V. Chemische Reize.

Für gewisse chemische Reize scheint jeder Theil des Protoplasmas in gleichem Grade empfindlich zu sein. Möglicher Weise sind jedoch bei den Formen mit äusseren Anhängen auch diese Organoïde (Geisseln, Wimpern etc.) reizbarer für chemische Stoffe als das Innenprotoplasma des Körpers.

VI. Galvanische Reize.

Durch galvanische Reize endlich ist jeder Theil des Protoplasmas, wie es scheint, in ganz gleichem Maasse reizbar.

Die psychischen Processe der Protisten verglichen mit denen des Menschen.

Eingangs wurde hervorgehoben, dass man zur Untersuchung des Seelenlebens der Protisten drei Methoden anwenden kann. Ueberblicken wir jetzt am Schluss der Untersuchungen über die normalen Körperbewegungen, welche Anhaltspunkte für einen Vergleich der Entwicklungsstufe des protistischen und menschlichen Seelenlebens die Ergebnisse bieten, die mittels der beiden ersten Methoden gewonnen wurden, mittels der Methode der reinen Beobachtung, die besonders auf die spontanen Bewegungen Anwendung fand, und der Methode der Beobachtung unter gegebenen Bedingungen, die bei den Versuchen über die Reizbewegungen befolgt wurde.

Uebersicht der psychischen Grunderscheinungen beim Menschen.

Wie die morphologischen Verhältnisse des Menschen schon zum Theil bekannt waren, noch ehe die Entwicklungsgeschichte und vergleichende Anatomie ein wahres Verständniss derselben angebahnt hatte, so besitzen wir auch durch Selbstbeobachtung gewisse Kenntnisse von den psychischen Vorgängen im Menschen, obgleich sich noch kaum eine vergleichende Psychologie und eine Psychogenie entwickelt hat, welche Licht über das eigentliche Wesen dieser Vorgänge verbreiten könnte. Aber bisher haben sich allgemein feststehende Begriffe und Definitionen der psychischen Vorgänge noch nicht gebildet, vielmehr ist die Gebrauchsweise der Bezeichnungen für einzelne Erscheinungen eine so verschiedene, dass es, bevor eine Vergleichung der psychischen Vorgänge der Protisten mit denen unseres eigenen subjectiven Seelenlebens möglich wird, dringend nothwendig erscheint, die hier verwandte Gebrauchsweise der betreffenden Bezeichnungen erst kurz zu kennzeichnen, soweit sie für die folgenden Betrachtungen von Bedeutung sind. Denn dass ein grosser Theil aller wissenschaftlichen Differenzen auf die verschiedene Verwendung gewisser Bezeichnungen, die natürlich eine Verständigung nicht aufkommen lässt, zurückzuführen ist, ist eine Thatsache, die leider viel zu wenig Berücksichtigung erfährt. Genügend definiren lassen sich die psychischen Er-

scheinungen zur Zeit nicht, da unsere Kenntniss von ihnen noch eine zu geringe ist, und da ja ein tieferes Verständniss überhaupt erst das Ziel der vergleichend psychologischen und psychogenetischen Forschung repräsentirt. Die Begriffe werden sich erst fixiren lassen, wenn das *Wesen* der Vorgänge genauer erforscht sein wird. Vorläufig müssen für die Erläuterung zum Theil noch ganz äusserliche Momente verwendet werden. Deshalb soll, was ich hier ausdrücklich bemerken möchte, den folgenden Erklärungen keine andere Bedeutung beigelegt werden als die, dass sie einen vorläufigen Anhaltspunkt bieten sollen für eine Verständigung bei dem folgenden Vergleich.

Man kann die psychischen Vorgänge, die wir aus unserem Seelenleben kennen, eintheilen in *Erkenntnissvorgänge* und *Willensvorgänge*. Nur die einfachsten Erscheinungen aus beiden Gruppen können natürlich hier Berücksichtigung erfahren, während die complicirteren, welche diese voraussetzen und durch Combination derselben entstehen, für den vorliegenden Zweck von untergeordneter Bedeutung sind.

I. Erkenntnissvorgänge.

Der elementare Erkenntnissvorgang ist die *einfache Empfindung*, d. i. diejenige Veränderung des psychischen Zustandes, welche durch die verschiedenen äusseren Reize (Licht, Wärme, Schall, Berührung etc.) erzeugt wird.

Die *Vorstellung* ist die Erinnerung an eine Empfindung resp. einen Empfindungscomplex, d. h. eine Empfindung, die ohne *äusseren* Reiz entsteht. Vorstellungen sind in der Regel weniger intensiv als die ursprünglichen Empfindungen, doch können sie in pathologischen Zuständen gleiche Intensität erreichen.

Die Fähigkeit, Empfindungen etc. reproduciren zu können, ohne dass der äussere Reiz noch einwirkt, ist *das Gedächtniss*.

Die Verbindung mehrerer Vorstellungen nacheinander ist *der Gedanke*. Gedanken und Vorstellungen vereinigen sich ferner zu *Ueberlegungen* und complicirteren psychischen Vorgängen.

Alle diese Erscheinungen sind uns natürlich nur dadurch bekannt, dass sie unter Umständen bewusst sind.

Was nennen wir aber *Bewusstsein*? Gerade dieser Begriff wird von den Autoren in der verschiedensten Ausdehnung gebraucht. Während die einen alle Erkenntnissvorgänge als

Bewusstseinserscheinungen bezeichnen, beschränken andere den Ausdruck auf einzelne mehr oder weniger genau zu umgrenzende Erscheinungen. Beiden Auffassungen liegt etwas Richtiges zu Grunde. Einerseits muss man nämlich die Bewusstseinserscheinungen als eine ununterbrochene Entwicklungsreihe auffassen, deren Keime bereits bei den niedrigsten Organismen vorhanden sein müssen; denn wir kennen sowohl aus unserem eigenen psychischen Leben Verschiedenheiten und Abstufungen des Bewusstseins, als auch kennen wir Verschiedenheiten des Bewusstseins aus anderen Thatsachen. So ist z. B. das Bewusstsein eines Blindgeborenen, der sich seine Vorstellungen nur durch den Tastsinn schafft, schon ein anderes als das eines normalen Menschen; bei einem Menschen, dem auch die Tastorgane (Extremitäten) fehlen würden, wäre das Bewusstsein noch mehr verschieden, und so fort. Andrerseits aber unterscheidet die Sprache scharf zwischen bewussten und unbewussten Vorgängen, und es dürfte wohl, nachdem man sich einmal klar gemacht hat, dass die Bewusstseinserscheinungen der Organismen eine Stufenfolge von vielen Gliedern, eine Entwicklungsreihe bilden, sehr zweckmässig sein, innerhalb dieser Entwicklungsreihe, die wir dann besser als Entwicklungsreihe der Erkenntnissvorgänge überhaupt bezeichnen, bewusste und unbewusste Erscheinungen zu unterscheiden.

Was bezeichnet nun die Sprache als bewusst im Gegensatz zu unbewusst? Der Ausdruck bewusst bezieht sich stets nur auf das individuelle Bewusstsein; alle psychischen Vorgänge, die ausserhalb desselben liegen, heissen unbewusst. So steht z. B. die Ursache der Herzbewegung oder der Reflexzuckung eines Muskels nicht unter der Herrschaft des Bewusstseins, denn diese Bewegungen erfolgen auch noch in der gleichen Weise wie vorher, nachdem die betreffenden Organe vom Individuum getrennt sind, was nicht der Fall sein könnte, wenn das individuelle Bewusstsein zu ihrem Zustandekommen nöthig wäre. Für die Entstehung des individuellen Bewusstseins muss nun — worin übrigens die meisten Naturforscher und Philosophen übereinstimmen — eine Vorbedingung unumgänglich erfüllt sein, nämlich die der Unterscheidung des eigenen Ich von der Umgebung. Schon hieraus geht wieder deutlich hervor, dass unter den Organismen das Bewusstsein verschiedene Entwickelungsstufen haben muss, je nachdem die Unterscheidungsfähigkeit entwickelt ist, was natürlich ganz und gar von dem Ausbildungsgrade der Sinnesorgane abhängt.

Ueber die Enstehung der Ich-Vorstellung haben nun die Beobachtungen am Menschen namentlich von WUNDT[95]) und PREYER[96]) Auskunft gegeben. Das Entstehen der Vorstellung des Ich als Individuum ist ein inductiver Process. Ursprünglich existiren nur untereinander unverbundene Empfindungen und Vorstellungen einzelner Körpertheile. Jeder kleinste Theil des Körpers ist ein eigenes von den anderen gesondertes Ich, eine einheitliche Ich-Vorstellung ist dabei noch nicht vorhanden. Ein Bild macht dieses Verhältniss sofort klar. In dunkler Nacht steht auf weitem Felde eine grosse Volksversammlung von vielen Tausenden dicht aneinander gedrängten Menschen. Trotzdem sich alle berühren und mit einander sprechen können, existirt doch nirgends eine einheitliche Vorstellung von der Grösse, Gestalt etc. des ganzen Haufens, die einzelnen Ichs sind nicht untereinander zu einer Einheit verbunden. Aus dem Zustande der Coordination vieler getrennter Ichs entsteht nun die Vorstellung eines einheitlichen Ich durch allmählige Subordination derselben unter ein einziges, und dieses ist das Ich eines Sinnesorgans. Diesen psychogenetischen Inductionsprocess kann man in der Psychogenese des Kindes zum Theil noch verfolgen. Anfangs sind die einzelnen Glieder des Körpers noch selbstständige Ichs und sind für das Ich des Gesichtssinnes, der bei diesem Process die dominirende Stelle einnimmt, nichts anderes als die Gegenstände der Aussenwelt. Indem aber allmählig im Laufe ziemlich langer Zeit die einzelnen Theile des Körpers und ihre Bewegungen als etwas Constantes auf das Ich des Gesichtssinnes bezogen werden, und sich zugleich im Centralnervensystem die entsprechenden Associationsbahnen ausbilden, entwickelt sich langsam die einheitliche Vorstellung des Ich, indem dieselbe immer mehr und mehr durch Induction neuer Elemente an Umfang zunimmt, bis sie sich zu der Vorstellung des Ich herangebildet hat, die der normale Mensch besitzt. Wo das Auge fehlt, ersetzt der Tastsinn oder irgend ein anderer Sinn dasselbe in entsprechend unvollkommener Weise. Auch beim Erwachsenen ist die Ich-Vorstellung immer noch der Weiterbildung und Ausdehnung fähig, wie z. B. ein Arzt durch das Studium des menschlichen Körpers sein Ich bedeutend erweitert, indem er noch

[95]) Wundt: „Vorlesungen über die Menschen- und Thierseele". Leipzig 1863.

[96]) Preyer: „Die Seele des Kindes. Beobachtungen über die geistige Entwicklung des Menschen in den ersten Lebensjahren". Leipzig 1881.

Elemente in die Ich-Vorstellung einfügt, die einem Laien häufig gar nicht hekannt sind. Ein Laie lokalisirt daher z. B. sehr viele Empfindungen an inneren Organen falsch, und verlegt sie meist nach der Peripherie. So ist also das einheitliche Ich eigentlich eine Summe von Vorstellungen, die durch einen einzigen Sinn, d. h. in einer einzigen Empfindungssphäre untereinander zu einer gewissen Einheit verhunden sind. Bewusst sind nur diejenigen Vorgänge, welche mit der Vorstellung des einheitlichen Ich associirt werden. Nach der inductiven Bildung der Ich-Vorstellung erst können von diesem Ich aus durch Deduction bewusste Lokalisationen am eigenen Ich vorgenommen werden, es kann also nun erst eine hewusste Empfindung an irgend einer Körperstelle entstehen. Wird mit einem Vorgang die Ich-Vorstellung nicht verbunden, so ist derselbe unbewusst.

II. Willensvorgänge.

Jeder Willensvorgang entspringt aus einem Erkenntnissvorgang irgend welcher Art. Willensäusserung par excellence ist die Bewegung. Da jeder Erkenntnissvorgang einen Willensvorgang von entsprechender Beschaffenheit hervorrufen kann, so muss man unter Zugrundelegung derselben Betrachtung wie oben auch unhewusste und bewusste Willensvorgänge unterscheiden. Als unhewusste Willensäusserungen muss man z. B. die Reflexhewegung, die impulsive Bewegung (Preyer), die automatische Bewegung auffassen, als bewusste dagegen das aus bewussten Vorstellungen und Ueberlegungen entspringende Handeln.

Der Begriff der Reflex-, impulsiven und automatischen Bewegung hedarf indessen noch einer eingehenderen Definition deshalb, weil diese Bewegungen häufig mit anderen unbewussten Willensäusserungen, die genetisch weit von ihnen verschieden sind, verwechselt werden.

Als echte Reflexhewegung soll in allgemeinster Fassung (auch mit Berücksichtigung der nervenlosen Thiere) eine auf einen äusseren Reiz erfolgende, einmalige, mit maschinenmässiger Gesetzmässigkeit verlaufende Bewegung hezeichnet werden, deren unmittelbare Veranlassung ein unbewusster Willensvorgang ist, d. h. zu deren Zustandekommen weder jetzt noch in der ontogenetischen Entwicklung ein hewusster Willensvorgang wirksam ist oder war. Der unbewusste Wille resp. die ihm zu Grnnde liegende unbewusste Empfindung kann dahei secundär durch Verhindung mit der Vorstellung des Ich oder seiner Theile hewusst

werden, indessen hat das Bewusstsein zum Zustandekommen der Reflexbewegung keinen Einfluss. Als Beispiel für die Reflexbewegung diene die Verengerung der Pupille bei Beleuchtung.

Als impulsiv bezeichnete zuerst PREYER Bewegungen am Menschen, die „ohne vorherige periphere Erregung ausschliesslich durch die in den motorischen Centren niederster Ordnung stattfindenden nutritiven und sonstigen organischen Processe verursacht werden". Fasst man den Begriff etwas allgemeiner, so kann man impulsive Bewegungen solche Bewegungen nennen, die ohne äusseren Reiz entstehen und einmalig oder in unregelmässigen Zwischenräumen auftreten, deren Veranlassung stets nur ein unbewusster Willensvorgang ist. Ein bewusster Wille ist weder jetzt noch in ihrer Entwicklung zu ihrem Zustandekommen wirksam gewesen. Schliesslich zeichnen sich die impulsiven Bewegungen häufig durch ihre auffallende Zwecklosigkeit aus. Impulsiv sind die Bewegungen der Extremitäten beim menschlichen Embryo und neugeborenen Kinde (PREYER).

Unter einer automatischen Bewegung soll eine rhythmisch in gewissen Zwischenräumen in stets gleicher Form sich wiederholende impulsive Bewegung verstanden werden, z. B. die Bewegung des Herzens.

Scharf von diesen eben charakterisirten Bewegungen zu trennen sind diejenigen unbewussten Bewegungen, welche ontogenetisch oder phylogenetisch aus bewussten Bewegungen entstanden sind, also die unbewusst gewordenen Bewegungen, wie das Gehen, das Zurückschrecken etc.

Die Unterscheidung der letzteren, sowie aller bewussten Bewegungen von den aus rein unbewussten Willensvorgängen entspringenden ist leider nicht immer sicher möglich, denn bisher giebt es kein durchgreifendes objectives Merkmal, an welchem man jede einzelne Bewegung mit Sicherheit sofort als unbewusst oder bewusst erkennen könnte. In der Regel kann man nur aus einer Reihe von Symptomen die Diagnose stellen. Das von mancher Seite früher angeführte Charakteristicum der Zweckmässigkeit trifft nicht nur für bewusste Bewegungen zu, sondern auch für den grössten Theil der unbewussten, eine Thatsache, welche übrigens durch die Selectionstheorie in befriedigender Weise erklärt wird.

Die Reizbewegungen der Protisten als Reflexbewegungen.

Vergleicht man nun, nachdem durch den vorstehenden Ueberblick eine Grundlage geschaffen ist, zunächst die Reizbewegungen

der Protisten mit ähnlichen Erscheinungen beim Menschen hinsichtlich ihrer psychischen Genese, so kann man nach dem ersten Eindruck mehrere Gruppen unterscheiden.

Ein grosser Theil der Bewegungserscheinungen, welche durch Reize hedingt sind, wird von vornherein nie den Anschein erwecken, als ob höhere, bewusste Willensvorgänge ihre Ursache wären. So z. B. das Gebundensein der Bewegungsfähigkeit überhaupt an Licht, Wärme, Sauerstoff etc., und ferner das fest bestimmte Abhängigkeitsverhältniss, in welchem die Schnelligkeit vieler Bewegungen, etwa der amoeboïden Bewegung und Flimmerbewegung zu Temperaturgraden, Sauerstoffspannungen etc. steht. Man wird ohne weiteres diese Erscheinungen auf das physikalische und chemische Abhängigkeitsverhältniss zurückführen, in welchem die bewegliche Substanz des Protistenkörpers zu diesen Reizen steht. In der That sind auch diese Bewegungen noch nie als Ausdruck höherer psychischer Vorgänge angesprochen worden.

Eher würde man bei einer zweiten Gruppe geneigt sein können, an Willensvorgänge zu denken, die in hewussten Empfindungen ihren Anlass haben. Es gehören hierher die mannigfaltigen Contractionserscheinungen, welche die verschiedenen Reize hervorrufen, z. B. das Einziehen der Pseudopodien, das Zurückzucken der Flagellaten- und Ciliaten-Infusorien und die Contractionen der Myoïde hei Berührung mit Fremdkörpern, chemischen Stoffen, auf Wärmereize etc., sowie zahlreiche andere Erscheinungen, wie sie den hei weitem grössten Theil aller Reizbewegungen ansmachen. Wenn man indessen nicht blos den Verlauf einer einzelnen Bewegung dahei ins Auge fasst, sondern eine ganze Reihe an demselben Individuum verlaufender Bewegungen dieser Art hetrachtet, so wird man nicht im Zweifel hleihen, dass man dieselhen direkt mit echten Reflexhewegungen vergleichen muss, denn sie zeigen das charakterische Merkmal derselhen, *dass sie mit maschinenmässiger Gesetzmässigkeit jeden Reiz in stets der gleichen Weise, ohne die geringste Abweichung beantworten.* Ausserdem erfolgen die genannten Bewegungen wenigstens bei den Flagellaten und Ciliaten auf jeden heliebigen Reiz mit einer solchen Geschwindigkeit und Sicherheit, dass wohl kaum die nöthige Zeit für eine bewusste Empfindung mit entsprechender Willensentscheidung vorhanden wäre. Gerade diese Bewegungen tragen unter allen Reizbewegungen den Charakter von Reflexen

so typisch und unverhüllt an sich, wie keine der anderen, und wer eine Anzahl derselben beobachtet hat, wird sie ohne weiteres mit den Bewegungen eines ausgeschnittenen Muskels bei direkter Reizung homologisiren.

Am meisten von allen Bewegungen sind die tropischen Bewegungserscheinungen dazu angethan, auf den ersten Anblick bei den Protisten höhere psychische Vorgänge vermuthen zu lassen. Man kann nicht leugnen, dass der grösste Theil dieser Erscheinungen, wie der Heliotropismus der Flagellaten, Diatomeen, Oscillarien etc. mitsammt der Photometrie, ferner der Hydrotropismus der Myxomyceten, der Trophotropismus derselben Protisten, sowie die negativ tropischen Bewegungen schädlichen Reizen gegenüber, eine hervorragende Zweckmässigkeit für die betreffenden Organismen besitzt. Es hat den Anschein, als ob die Protisten den Nutzen oder Schaden der betreffenden Reize wissen resp. angenehme oder unangenehme Empfindungen durch sie erleiden, und deshalb ihrer Quelle nachzugehen oder auszuweichen sich bemühen.

Nun ist aber, wie schon bemerkt, die Zweckmässigkeit überhaupt kein ausschliessliches Kriterium für bewusste Willenshandlungen, da auch völlig unbewusste Willensäusserungen sehr zweckmässig sein können. Andrerseits liefern einem kritischen Beobachter beim Ueberblick über ein grösseres Material gerade die tropischen Erscheinungen selbst den Nachweis, dass sie keinesfalls auf höhere psychische Vorgänge zurückgeführt werden dürfen. Zunächst nämlich ist nicht daran zu zweifeln, dass es sich bei den tropischen Wirkungen aller Reizqualitäten im Princip um die analogen psychischen Vorgänge im Protistenkörper handelt. Man wird daher annehmen müssen, dass die Bestimmung der Bewegungsrichtung von Seiten der Protisten bei allen Reizen aus denselben Willensvorgängen entspringt. Für die folgende Betrachtung sind nun besonders gewisse chemotropische und galvanotropische Erscheinungen von Wichtigkeit.

Schon der Umstand ist höchst auffällig, dass manche Stoffe, mit denen die Protisten in ihrem Leben unter normalen Verhältnissen nie in Berührung kommen, chemotropisch wirksam sind; und das Gleiche gilt vom galvanischen Strom. Gerade bei letzterem tritt die Axenrichtung bei allen Individuen ohne Ausnahme bei der Schliessung so präcise und schnell ein, dass es wunderbar sein müsste, wenn die Ciliaten sich unter Verhältnissen, die sie noch nie kennen gelernt haben, so plötzlich und sicher zu orientiren

wüssten. Immerhin könnte man in diesen Fällen annehmen, dass die chemischen oder galvanischen Reize angenehme, bezugsweise unangenehme Empfindungen erweckten, die das Protist zu vermeiden sucht. Dieser Einwand wird aber durch die Thatsache zurückgewiesen, dass auch gewisse direct schädlich und tödtlich wirkende Stoffe auf die Protisten positiv chemotropisch wirken, ja dass sie sogar im Stande sind, die Protisten aus nahrhaften Stoffen herauszulocken. Hier wird man kaum annehmen dürfen, dass die giftigen Stoffe angenehme Empfindungen erzeugen, man wird im Gegentheil, wenn man schon einmal bei Protisten angenehme und unangenehme Empfindungen voraussetzen will, nur annehmen können, dass umgekehrt gerade die Nahrungsstoffe angenehme Empfindungen hervorrufen müssten. Will man aber auch dieses Argument noch nicht gelten lassen, so bietet ein noch gewichtigeres die Erscheinung des Galvanotropismus bei Anwendung von Kupferelektroden. Wenn man durch einen grossen Wassertropfen den Strom aus Kupferelektroden längere Zeit hindurchgeschickt hat, so hat sich um jede Elektrode ein Hof von giftigen Zersetzungsproducten gebildet. Setzt man nun nach Oeffnung des Stromes in die Mitte des Tropfens Paramaecien, so verbreiten diese sich bald nach allen Seiten, kehren aber um, sowie sie an die Sphaere der Zersetzungsproducte kommen. Mischt man durch Aufrühren des Tropfens die Zersetzungsproducte gleichmässig unter die ganze Flüssigkeit, so dass die Infusorien sich in ihnen bewegen müssen, so gehen alle in wenigen Secunden unter starken Axendrehungen zu Grunde. Ein Vertheidiger der bewussten Empfindung bei Protisten würde also in diesem Falle sicherlich nur das Vorhandensein einer sehr unangenehmen Empfindung behaupten können, und dennoch schwimmen, wenn man einen Tropfen mit Infusorien zwischen die Kupferelektroden bringt, bei Schliessung des Stromes sämmtliche Individuen von allen Seiten auf die Elektrode los, direct in die Sphäre der giftigen Stoffe hinein, wo sie unter strenger Beibehaltung der Axeneinstellung und unter beständiger Axendrehung vorwärts dringen, bis sie in wenigen Secunden todt sind. Kein Umkehren, Zurückzucken oder auch nur Stillstehen ist bemerkbar; mit eiserner Nothwendigkeit zwingt sie der galvanische Strom, der selbst unschädlich ist, wie man bei Anwendung unpolarisirbarer Elektroden bemerkt, in der bestimmten Richtung zu schwimmen, trotzdem sie in ihr Verderben eilen, und kein einziges Individuum kann sich seinem Schicksal entziehen.

Ich glaube, diese Erscheinungen zeigen zur Evidenz, dass man die tropischen Bewegungen nicht als bewusste, überlegte Willenshandlungen betrachten darf; vielmehr tritt in manchen Fällen, wie z. B. gerade beim Galvanotropismus, in der augenblicklichen, präcisen, von allen Individuen ohne Ausnahme ausgeführten Axeneinstellung sehr deutlich der Charakter des Reflexes hervor, welcher bei manchen anderen tropischen Bewegungen etwas mehr verwischt erscheint. Und in der That zwingen auch andere Gründe dazu, die tropischen Erscheinungen auf einfache Reflexbewegungen zurückzuführen, die genetisch herzuleiten sind aus der Contraction (Retraction der Pseudopodien) und Expansion (Ausstreckung der Pseudopodien) bei den primitivsten Protistenformen. Alle tropischen Erscheinungen sind die Folge von unipolarer, also partieller Erregung des Protistenprotoplasmas, sei es durch Licht, Wärme, mechanische, chemische oder galvanische Reizung, welche ein Zurückweichen durch Contractions- oder Annähern durch Expansionserscheinungen bewirkt. Von einer Axeneinstellung kann natürlich erst die Rede sein bei monaxon gebauten Formen mit beständigem Körperumriss; aber auch die Axeneinstellung lässt sich ohne weiteres auf einen einfachen Contractions-, bezugsweise Expansionsvorgang zurückführen. Dass diese Bewegungserscheinungen von ganz hervorragender Zweckmässigkeit für die Erhaltung des Lebens sind, soweit sie durch Reize ausgelöst werden, mit denen die Protisten im normalen Leben überhaupt in Berührung kommen, erklärt sich sehr einfach aus der Wirkung der natürlichen Selection, die ja danach strebt, immer nur solche Lebenseinrichtungen fortzuzüchten, die einen Nützlichkeitswerth für die Organismen besitzen, ein Gesetz, das in gleichem Maasse für physiologische wie für morphologische Erscheinungen Gültigkeit hat.

Die spontanen Bewegungen der Protisten als impulsive und automatische Bewegungen.

Von vornherein machen überhaupt alle spontanen Bewegungen, deren Veranlassung unbekannt ist, wie schon oben bemerkt, auf den Beobachter den Eindruck der Willkür, und man ist allezeit zu der Vermuthung geneigt, dass denselben ein bewusster Erkenntnissvorgang zu Grunde liegt. So verführen auch viele von den spontanen Bewegungen der Protisten beim ersten Anblick sehr leicht zu dieser Annahme, besonders wegen der Planmässigkeit, die einzelnen von ihnen, z. B. dem Tasten der Lacry-

maria etc., zu Grunde zu liegen scheint. Es ist jedoch wichtig, sich demgegenüber einmal klar zu machen, dass die Kriterien der Spontaneïtät und Zweckmässigkeit völlig werthlos für eine kritische Betrachtung des Gegenstandes sind. So bieten unter anderem alle selbstthätigen Maschinen Beispiele dafür, wie spontane, scheinbar ganz planmässige und zweckbewusste Bewegungen ohne die geringste Spur von höheren psychischen Vorgängen zu Stande kommen können. Bei Maschinen erscheint uns diese Thatsache nur deshalb nicht auffällig, weil wir ihren Mechanismus kennen und wissen, dass die betreffende Bewegung nur durch das Ineinandergreifen der einzelnen Theile entsteht. Ein Kind, das diese Kenntniss nicht hat, hält deshalb auch ohne Bedenken eine Locomotive für ein lebendiges Thier. Einem Organismus gegenüber, bei dem wir das Ineinandergreifen der Einzelbewegungen noch nicht kennen, verhalten wir uns wie das Kind zur Maschine; so fühlen wir uns veranlasst, in ihn dasselbe Princip hineinzuverlegen, welches bei uns die Veranlassung zu zweckmässigem Handeln ist. Bei längerer und häufigerer Beobachtung der Bewegungen, welche an jeder einzelnen Protistenform verlaufen, findet man jedoch gewisse Erscheinungen, die einerseits starken Zweifel an dieser Ansicht erwecken und andrerseits auf eine viel ungezwungenere und näherliegende Erklärung der spontanen Bewegungen hinführen.

Zunächst ist es eine allgemein zu beobachtende Thatsache, auf die schon früher hingewiesen wurde, dass jede Protistenform nur über eine ganz beschränkte Anzahl von spontanen Bewegungen verfügt, wozu gleich als ein zweiter wichtiger Gesichtspunkt hinzukommt, dass diese Bewegungen sich stets in derselben Form wiederholen. So hat z. B. jede Rhizopodenform nur eine einzige Bewegung, die sich in der für sie charakteristischen Art der Pseudopodienbildung äussert. Flagellaten und Ciliaten führen mehrere verschiedene Bewegungen aus. Zwei, drei, auch vier Bewegungen wechseln mit einander ab. Aber immer findet man, dass jede einzelne Bewegung jedesmal in genau derselben Weise ausgeführt wird, ihre Form, ihr Verlauf ist ein wie allemal bis in die Einzelheiten hinein der gleiche. Würden diese Bewegungen Willensäusserungen sein, die aus bewussten Erkenntnissvorgängen entspringen, so würde man erwarten, dass dieselben je nach den näheren Umständen wenigstens in geringem Maasse modificirt würden, oder dass auch gelegentlich ausser ihnen eine neue Bewegung sich bemerkbar machte, denn die äusseren Verhältnisse

sind häufig durchaus verschieden. Ein Actinosphaerium, eine Lacrymaria, eine Halteria etc. macht aber unter allen Verhältnissen stets die gleichen Bewegungen. Man kann in dieser Hinsicht den Protistenorganismus mit einer Spieluhr vergleichen, die nur auf ein oder wenige Stücke eingerichtet ist. Eine solche Spieluhr kann kein anderes Stück spielen, als die ihr eigenen, unter denen sie nur abwechseln kann, je nachdem die Walze für das eine oder das andere Stück eingestellt wird. Die betreffenden Stücke charakterisiren die Spieluhr, wie die Bewegungen jedes Protist charakterisiren.

Nun kommt allerdings bei einer Gruppe von spontanen Bewegungen ein Moment in Betracht, das bei der Beurtheilung derselben nicht übersehen werden darf, da es scheinbar für die gegentheilige Ansicht von der psychologischen Werthigkeit dieser Bewegungen spricht, das ist das völlig regellose und unvorherbestimmbare Eintreten derselben. Ein Stentor zuckt plötzlich zusammen, streckt sich aus, zuckt nach kurzer Zeit wieder, kann dann sehr lange ruhig ausgestreckt bleiben ohne die geringsten Zuckungen, bis er gelegentlich wieder in unregelmässigen Zwischenräumen hintereinander eine ganze Reihe von Zuckungen ausführt u. s. f. Eine Halteria springt ebenso in ganz unregelmässigen Zwischenräumen im Wasser umher. Ein Euplotes setzt beim ruhigen, langsamen Gehen bald die eine, bald die andere Bauchwimper vor, regellos und unperiodisch zwischen ihnen abwechselnd. Dieser Umstand könnte für die Deutung der betreffenden Bewegungen als überlegte Willensäusserungen verwerthet werden, wenn nicht eine wichtige Thatsache dagegen spräche, nämlich dass die meisten dieser Bewegungen jeder Zweckmässigkeit entbehren. Im Hinblick auf diesen und die oben angeführten Gesichtspunkte ist es im höchsten Grade unwahrscheinlich, dass die spontanen Bewegungen der Protisten aus bewusster Ueberlegung entspringende Willensactionen sind, dagegen tragen sie alle jene Charaktere an sich, welche den Typus der impulsiven Bewegungen bezeichnen. Dazu kommt noch, dass diese in unregelmässigen Zwischenräumen sich wiederholenden Bewegungen durch eine grosse Zahl von Uebergängen direct zu ganz periodischen Bewegungen hinüberführten, deren automatischer Charakter nie bestritten werden wird. So werden z. B. die häufig ganz plötzlich und unregelmässig eintretenden stärkeren Schläge der Peristomwimpern vieler Ciliaten (Euplotes, Halteria etc.) beim Uebergehen des Protists in die Wirbel-

bewegung (vergl. Seite 30) zu völlig rhythmischen, periodischen Bewegnngen. Auch complicirtere Bewegungen, wie das unaufhörliche Tasten der Lacrymaria mit ihrem Rüssel, sind schon fast als rhythmisch zu bezeichnen.

Aus solchen Bewegungen muss man sich die echten automatischen Bewegungen phylogenetisch hervorgegangen denken, indem die inneren Impulse periodisch resp. continnirlich wurden und so periodische Bewegungen erzeugten, wie sie z. B. in den Bewegungen der Peristomwimperreihen, der pulsirenden Vacuolen und verschiedenen anderen Erscheinungen vorliegen. Denn dass diese regelmässigen, geordneten Bewegungen lauter bewussten Willensvorgängen ihren Ursprung verdanken, wird wohl Niemand ernstlich annehmen.

Den beiden in genetischem Zusammenhange stehenden Gruppen der impulsiven und automatischen Bewegungen lassen sich alle spontanen Bewegungen der Protisten ohne Zwang unterordnen, und es dürfte kaum noch andere Bewegungen geben, die bei genügender Würdigung der eben angestellten Betrachtungen begründeten Anspruch machen könnten, für bewusste Willensäusserungen zu gelten.

Sollten aber trotz der an den Reizbewegungen und spontanen Bewegungen geübten Kritik noch einzelne Zweifel bestehen, ob nicht doch etwa manchen dieser Bewegungen höhere psychische Vorgänge zu Grunde liegen könnten, so werden dieselben völlig beseitigt durch die

Schlüsse, welche die Untersuchung der sensiblen Elemente gestattet.

Gerade bei den Protisten ist die Controlle, welche eine Untersuchung der Beschaffenheit der sensiblen Elemente über die aus der Untersuchnug der Bewegungen gewonnenen Ergebnisse ermöglicht, von der grössten Bedeutnng, und zwar eben speciell für die Entscheidung der Frage, ob man in den Bewegungen der Protisten bewusste Willenshandlungen erblicken darf. Wir hatten gesehen, dass für das Vorhandensein bewusster Vorgänge die Vorstellung des Ich nothwendige Vorbedingung ist, und dass die Ich-Vorstellung nur dadurch entsteht, dass die unbewussten Empfindungen und Vorstellungen der einzelnen Theile des Körpers einem einzigen Empfindungsgebiet, beim normalen Menschen der Gesichtsempfindung untergeordnet, d. h. auf sie bezogen werden. Es ist also dazu nothwendig, dass ein einziges Sinnesorgan den

ganzen Körper beherrscht. Hierbei kann nicht bezweifelt werden, dass die Organe aller Sinne, wenn sie die erforderliche Beschaffenheit besitzen, diesen Zweck erfüllen können. Prüfen wir, wie weit die sensiblen Elemente der Protisten zur Erfüllung desselben hinreichen.

Die sensiblen Elemente für die Lichtempfindung fehlen, wie wir gesehen haben, bei vielen Protisten, z. B. gewissen Rhizopoden und Ciliaten, gänzlich, ein Umstand, der höchst bedeutungsvoll ist, denn er beweist, dass gerade für die am höchsten entwickelten Protisten, die Ciliaten, die ganze Fülle der wichtigen Empfindungen und Vorstellungen, die uns durch das Sehorgan erschlossen wird, überhaupt gar nicht vorhanden ist. Aber auch bei denjenigen Protistengruppen, welche Lichtempfindung besitzen, sind die sensiblen Elemente dafür noch so unvollkommen, dass sie nur hell und dunkel unterscheiden können, und auch dies nur innerhalb einer sehr begrenzten Farbenzone. Auch die mit differenzirten Organoïden für die Lichtperception versehenen Protisten, falls man die Pigmentflecke etc. für Sinnesorganoïde halten will, stehen auf keiner höheren Stufe als die übrigen lichtempfindlichen Formen. Gegenstände zu erkennen ist ihnen nicht möglich; dafür liefert einen ganz sicheren Beweis die Thatsache, dass *diese Protisten ebenso wenig wie andere irgend einem Hinderniss ausweichen*, vielmehr stets an dasselbe anstossen und erst dann in Folge des Berührungsreizes zurückzucken. Die sensiblen Elemente für die Lichtperception sind aber auch nicht so beschaffen, dass sich aus den Empfindungen, die sie vermitteln, eine Vorstellung des Ich entwickeln könnte. Bei keinem Protist beherrscht ein solches Sinnesorganoïd den ganzen Körper. Selbst wenn der Pigmentfleck so gut sehen könnte wie das menschliche Auge, würde er doch nie die Vorstellung des Ich ermöglichen, da er unbeweglich im Protoplasma eingebettet ist, somit also den äusseren Körper gar nicht überblicken könnte. Ebenso wenig aber kann eine Ich-Vorstellung entstehen, wo jedes Element des Körpers sensibel ist, denn alsdann könnte jedes, selbst im Falle, dass es sehen könnte wie unser Auge, nur immer die Empfindung und Vorstellung von seinen benachbarten haben, nie würde eine einheitliche Ich-Vorstellung zu Stande kommen können, da kein einziges Element den ganzen Körper überblicken kann. Das oben angeführte Bild von der Volksmenge auf freiem Felde, die so gross ist, dass ein einzelnes Individuum derselben keine

Vorstellung des ganzen Haufens besitzt, erläutert diese Thatsache hinreichend.

Diese Ueberlegung ist sehr wichtig, da sie zugleich zeigt, dass überall, wo keine besonderen Sinnesorganoïde differenzirt, sondern wo alle Protoplasmaelemente gleichmässig sensibel sind, keine einheitliche Ich-Vorstellung existiren kann, denn kein Element beherrscht alsdann den ganzen Körper, also können auch nicht die Empfindungen und Vorstellungen der anderen Elemente auf Empfindungen und Vorstellungen eines einzigen bezogen werden. Der ganze Körper repräsentirt in diesem Falle nur eine Summe von unter einander in gewissem Zusammenhange stehenden Einzel-Ichs.

Das gilt in gleicher Weise für die Empfindung der thermischen, chemischen, galvanischen und mechanischen Reize.

Die sensiblen Elemente für die mechanischen Reize verdienen jedoch eine besondere Erwähnung, weil sich in ihnen (Wimpern, Borsten, Tentakeln der Ciliaten) die ersten Anfänge einer Differenzirung finden, welche die Grundlage für die Entstehung specifischer Sinnesorganoïde abgiebt. Aber auch hier fehlt noch ein Organoïd, das, wie beim Menschen die Extremitäten, den ganzen Körper abtasten und so eine Tastvorstellung des Ich erzeugen könnte. Durch Berührung der Wimpern unter einander kann es zu keiner einheitlichen Vorstellung des Körpers kommen, denn jede Wimper kann nur immer die Empfindung und Vorstellung ihrer benachbarten erlangen. Bei Rhizopoden ist noch viel weniger daran zu denken, denn bei ihnen hat sich überhaupt noch gar keine beständige Körperform entwickelt, ein Polythalam, ein Myxomycetenplasmodium hat in jedem Augenblick eine andere Körperoberfläche, und immer sind es wieder andere Protoplasmaelemente, welche dieselbe bilden.

Aus dem Mangel einer Ich-Vorstellung folgt, wie wir sahen, mit Nothwendigkeit, dass bewusste psychische Vorgänge in dem Sinne, wie wir sie als Gegensatz zu unbewussten bezeichnen, bei Protisten noch nicht vorhanden sein können, wenn auch in der hochentwickelten Reizbarkeit und Reizfortpflanzungsfähigkeit des Protoplasmas und dem ersten Beginn der Differenzirung von Sinnesorganoïden im Protistenreich der Keim für ihre Entwicklung bei den Thieren bereits gelegt ist. Die Betrachtung der Sinnesorgane bestätigt daher die aus der Beobachtung der Bewegungen gezogenen Schlüsse, dass die Bewegungen der Protisten nicht aus bewussten Empfindungen, Vorstellungen, Ge-

danken etc. entspringende Willensäusserungen sind, sondern dass sie als Reflexe, impulsive und automatische Bewegungen aufgefasst werden müssen.

Complicirtere Lebensthätigkeiten.

Mit der im Vorigen entwickelten Auffassung von der Höhe der psychischen Vorgänge bei den Protisten scheinen sich einige Angaben über gewisse Lebensthätigkeiten dieser Organismen, welche gerade in hohem Maasse den Anschein haben, als lägen ihnen höhere psychische Vorgänge zu Grunde, nicht im Einklang zu befinden. Besonders gilt dies von gewissen Erscheinungen, die mit der Nahrungsaufnahme und dem Gehäusebau im Zusammenhang stehen. Eine Untersuchung der betreffenden Verhältnisse ist daher für den vorliegenden Zweck dringend nöthig.

I. Nahrungsaufnahme.

Es ist verschiedentlich in der Litteratur die Angabe gemacht worden, dass die Protisten sich ihre Nahrung auswählen, eine Thätigkeit, die nach gewöhnlichen Begriffen die bewusste Vorstellung von der Brauchbarkeit oder Unbrauchbarkeit der Nahrungsstoffe, mithin eine höhere psychische Erscheinung voraussetzen würde. Indessen geht aus den folgenden Versuchen hervor, dass davon nicht die Rede ist, und dass die Erscheinungen, welche eventuell so gedeutet werden könnten, auf einfachere Weise zu Stande kommen.

Natürlich kommen für die Untersuchung nur diejenigen Protisten in Betracht, welche geformte Nahrung aufnehmen; unter diesen aber ist wieder der Modus der Nahrungsaufnahme ein sehr verschiedener.

Die einfachste Form der Nahrungsaufnahme trifft man bei Amoeben und amoebenähnlichen Rhizopoden. Diese Protisten umfliessen, wie auch andere Beobachter öfter gesehen haben, mit ihren Pseudopodien die Nahrungstheilchen und verleiben sie auf diese Weise ihrem Körper ein. Aber man kann öfter beobachten, dass die Aufnahme sich nicht nur auf solche Stoffe erstreckt, die wirklich Nährwerth besitzen, sondern überhaupt

auf alle möglichen Stoffe, die gelegentlich dem Protist in den Weg kommen, so z. B. auch auf Schlammpartikelchen, Stärkekörner*), Diatomeenpanzer, Sandkörnchen, Glassplitter etc. So sah ich z. B. eine Amoeba diffluens hintereinander während des Kriechens zwei blau gefärbte Glassplitter in sich aufnehmen, eine kurze Zeit lang im Körper mit sich schleppen und dann wieder ausstossen. Am leichtesten kann man diesen Vorgang an Pelomyxa palustris beobachten, die, wenn sie auf sandigem Boden lebt, von Sandkörnchen oft ganz vollgepfropft ist. Auch sah ich diese grossen Protoplasmaklumpen Asbestfäden, die ich ihnen bot, umfliessen, indem flache, stumpfe Pseudopodien um dieselben gebildet wurden, die in einander flossen, bis der Faden in das Innere aufgenommen war oder nur noch theilweise aus dem Körper hervorragte. Aus solchen Erscheinungen ist deutlich zu ersehen, dass bei den betreffenden Formen keine Auswahl bei der Aufnahme von Fremdkörpern stattfindet.

Den Formen, welche alle möglichen Stoffe, verdauliche und unverdauliche, ihrem Protoplasmakörper einverleiben, stehen diejenigen Rhizopodenformen gegenüber, die nur bestimmte Nahrungsstoffe in sich aufnehmen. Man muss unter den letzteren selbst aber noch zwei Gruppen unterscheiden. Die Vertreter der einen suchen ihre Nahrung selbst auf, während die der anderen Gruppe nur gelegentlich heranschwimmende Organismen festhalten und verzehren. Wie sich zeigen wird, ist dieser Unterschied in den Ursachen, welche die Aufnahme bewirken, begründet.

Von mehreren Rhizopodenformen ist es bekannt, dass sie nur Nahrungsstoffe von bestimmter Beschaffenheit aufsuchen und in sich aufnehmen. Diese Erscheinung erweckt, wenn sie nicht im Zusammenhange mit anderen betrachtet wird, zuerst den Anschein einer zweckbewussten Handlung; kennt man aber die chemotropischen Erscheinungen unter den Protisten, so wird man kein Bedenken tragen, sie diesen unterzuordnen. So haben wir ja schon gesehen, dass die Plasmodien von Aethalium septicum Lohestücke aufsuchen und umfliessen, dass sie also Trophotropismus zeigen; und ebenso ist als Trophotropismus das Aufsuchen und Anbohren von Algenzellen seitens der

*) Stärkekörner werden von Amoeben nach Meissner nicht verdaut. Vergl. M. Meissner: „Beiträge zur Ernährungsphysiologie der Protozoen“. In Zeitschr. f. wissensch. Zool. Bd. 46. 1888.

Vampyrellaformen aufzufassen, wie es Cienkowski[97]) beschrieben hat. Es bedarf daher zu der Erklärung dieser Vorgänge durchaus nicht der Herbeiziehung höherer psychischer Momente als diejenigen sind, welche dem Chemotropismus, also einer blossen Reizwirkung zu Grunde liegen.

Wesentlich verschieden ist die Nahrungsaufnahme bei der anderen Gruppe, zu der besonders die mit fadenförmigen Pseudopodien versehenen Rhizopodenformen gehören, wie die Heliozoën, Thalamophoren etc. Wie auch Meissner[98]) angiebt, werden von Heliozoën nur lebende Organismen als Nahrung aufgenommen. Dasselbe gilt von den Thalamophoren, bei denen man den Vorgang mit allen weiteren Schicksalen der Nahrung genau verfolgen kann, da die Verdauung ausserhalb der Schale auf den Pseudopodiensträngen stattfindet, wie dies Fig. 11 auf Tafel III an Lieberkühnia Wagneri veranschaulicht. In der ausschliesslichen Aufnahme lebender Organismen könnte man allerdings eine Auswahl erblicken, indessen erklärt sich dieselbe anders. Die Thatsache, dass immer nur lebhaft sich bewegende Organismen von den Pseudopodien der Heliozoën und Foraminiferen festgehalten werden, führte mich auf die Vermuthung, dass in dem durch die Bewegung verursachten mechanischen Berührungsreiz der Grund zur Aufnahme zu suchen sei, und das bestätigte sich auch vollkommen durch eine Reihe von Versuchen. Wurde nämlich ein indifferenter Körper, z. B. eine Faser von Fliesspapier oder ein spitzes Härchen, welches mit den Pseudopodien eines Actinosphaerium Eichhornii in Berührung gebracht worden war, durch sanftes Blasen oder auch durch Stossen mit einer Nadel in Bewegung gesetzt, so fand ganz derselbe Process statt, als ob ein lebender Organismus die Pseudopodien berührte. Die Papierfaser wurde festgehalten, von dem sich zurückziehenden Protoplasma der Pseudopodien dem Körper zugeführt und so allmählig mit einem Theile in das Protoplasma hineingezogen. Dieselben Versuche gelangen auch an Polystomella crispa. Die Papierfaser wurde dabei von den Pseudopodien nur so lange dem Körper zugeführt, als sie in Bewegung erhalten wurde; wenn ein Stillstand eintrat, hörte alsbald auch das Zurückziehen auf und wurde erst wieder bei

[97]) Cienkowski: „Beiträge zur Kenntniss der Monaden". In Arch. f. mikrosk. Anatomie Bd. I. 1865.

[98]) M. Meissner: „Beiträge zur Ernährungsphysiologie der Protozoen". In Zeitschr. f. wissensch. Zool. Bd. 46. 1888.

erneuter Bewegung fortgesetzt. So konnte willkürlich die Aufnahme veranlasst und unterbrochen werden. Diese Versuche beweisen aufs deutlichste, dass die directe Ursache der Nahrungsaufnahme nur die mechanische Reizung ist, dass Alles, was die Pseudopodien mechanisch reizt, an den Körper angezogen und in ihn aufgenommen wird, gleichgültig, ob der betreffende Körper lebend oder leblos, verdaulich oder unverdaulich ist, so dass also auch hier von einer Auswahl der Nahrung im eigentlichen Sinne nicht gesprochen werden kann.

Ganz anders erfolgt natürlich die Nahrungsaufnahme bei den mit wohldifferenzirter Mundöffnung versehenen ciliaten Infusorien. Auch bei diesen ist eine Unterscheidung der Nahrungsstoffe behauptet worden, wohl in Folge der Thatsache, dass bei den mit adoraler Wimperspirale versehenen Ciliaten durchaus nicht Alles, was in deren Strudel gelangt, in die Mundöffnung geführt wird. So behauptet z. B. Géza Entz[99]): „Gelangen bei diesen ungeniessbare Gegenstände in den Strudel, so stellt das Infusorium das wirbelnde Spiel der Cilien ein oder giebt diesem eine Richtung, wodurch der Fremdkörper aus dem zum Munde führenden Strudel herausgeschleudert wird.“ Zur Beurtheilung der betreffenden Erscheinungen kommen aber folgende Umstände als sehr wesentlich in Betracht. Einerseits ist die Stellung des Wimperorgans nicht zu jeder Zeit eine solche, dass der durch dasselbe erzeugte Strudel stets die Theilchen in die Mundöffnung führt, sondern die Richtung des Strudels ist häufig so, dass die Theilchen vor oder um die Mundöffnung herumgewirbelt werden, so dass auch sehr gute Nahrungsstoffe nicht in die Mundöffnung gelangen, bis sich gelegentlich die Stellung der adoralen Wimpern und damit der Zielpunkt des Strudels ändert. Andrerseits aber können natürlich zu grosse Körper nicht durch die Mundöffnung gelangen, sondern werden wieder fortgeschleudert und können eventuell, wenn die mechanische Reizung bei der Berührung mit ihnen zu stark war, auch einen augenblicklichen Stillstand oder eine Zuckung etc. der adoralen Wimperzone verursachen. Im übrigen aber widerlegt die Thatsache, dass auch ganz unverdauliche Fremdkörper durch den Wirbel in den Körper hineingestrudelt werden, die Ansicht von einer Auswahl der Nahrungsstoffe voll-

---

[99]) Géza Entz: „Studien über Protisten“. Im Auftrage der königl. Ung. Naturw. Ges. Budapest 1888.

ständig. Schon der Graf von GLEICHEN-RUSSWURM[100]) und später besonders EHRENBERG[101]) haben Ciliaten mit Carminkörnchen gefüttert und die Aufnahme derselben beobachtet. In der That ist keine Beobachtung bei einiger Geduld leichter zu machen als die der Aufnahme von Carmin-, Indigokörnchen etc. Aber ganz ebenso werden auch andere Theilchen aufgenommen. So beobachtete ich z. B. bei Vorticella die Aufnahme der feinen Kalkkryställchen aus den Kalksäckchen an der Wirbelsäule der Frösche, während ich andrerseits oft genug bemerkte, dass wenn den Vorticellen kleine Organismen, wie Schwärmsporen oder Mikrokokken, geboten wurden, sie dieselben bald aufnahmen, bald fortstrudelten, je nach der Richtung, welche dem Strudel durch die Stellung des Wimperorgans gegeben war. Denn häufig ist, wie gesagt, die Richtung des Strudels so, dass überhaupt kein Körper durch denselben in die Vorticella geführt wird. Selbstverständlich kommt bei der Nahrungsaufnahme noch das Moment in Betracht, dass die betreffenden Körper nicht zu schwer sein dürfen, um vom Strudel ergriffen werden zu können, ein Umstand, der erklärt, warum z. B. nie Sandkörnchen in ciliaten Infusorien gefunden werden.

Es stellt sich also heraus, dass auch die Vorgänge bei der Nahrungsaufnahme der Protisten theils auf Reizbewegungen (Chemotropismus, Thigmotropismus der Rhizopoden) zurückgeführt, theils als eine nothwendige, unbeabsichtigte Folge spontaner und zwar echter automatischer Bewegungen (der Peristomwimperschlag bei Ciliaten) betrachtet werden müssen, und man wird hiernach, wenn man die Bezeichnung Auswahl für einzelne dieser Erscheinungen beibehalten will, sich klar machen müssen, dass darunter keine bewusste Auswahl in einer bestimmten Absicht zu verstehen ist, sondern ein völlig unbewusster Vorgang, ähnlich der natürlichen Auswahl, der Selection, die der Kampf ums Dasein hervorbringt.

II. Gehäusebau.

Die einfachste Entstehung hat das Gehäuse oder die Schale bei denjenigen Formen, wo es als Secret des Protoplasma-

[100]) W. F. von Gleichen-Russwurm: „Abhandlung über die Samen- und Infusionsthierchen und über die Erzeugung; nebst mikroskopischen Betrachtungen des Samens der Thiere und verschiedener Infusorien". Nürnberg 1778.

[101]) Ehrenberg: „Die Infusionsthiere als vollkommene Organismen". Leipzig 1838.

körpers an der Oberfläche desselben ausgeschieden wird, wie z. B. bei den Polythalamien. In diesem Falle hat das Gehäuse natürlich ganz die Form der Körperoberfläche, und man wird sich nicht veranlasst fühlen, bei seiner Entstehung die Mitwirkung von höheren psychischen Ursachen anzunehmen.

Ganz anders ist es aber bei den Formen, die zum Bau ihres Gehäuses Fremdkörper benutzen, wie dies in besonders augenfälliger Weise die Difflugien thun. Hier findet man neben der grössten Regelmässigkeit der Gehäuseformen häufig auch eine ganz bestimmte Beschaffenheit des Fremdkörpermaterials, das in einem Falle aus Diatomeenschalen, im anderen aus äusserst kleinen Sandkörnchen, im dritten wieder aus grossen Körnern u. s. f. bestehen kann. Aus diesen Thatsachen musste die Vermuthung entstehen, dass die Difflugien unter dem ihnen zur Verfügung stehenden Baumaterial nach bestimmten Gesichtspunkten eine Auswahl träfen, wie dies von verschiedenen Forschern, BÜTSCHLI[102]), GRUBER[103]), CARPENTER[104]) und anderen, auch ausgesprochen worden ist. Demnach müssten dem Gehäusebau dieser Rhizopoden sehr hohe psychische Vorgänge zu Grunde liegen.

Um diese Frage zu entscheiden, war ich bestrebt, den Gehäusebau der Difflugien genauer zu beobachten, was bisher noch nicht gelungen war, und ich hatte in der That das Glück, an der grossen Difflugia urceolata den Vorgang verfolgen zu können, den ich bereits a. a. O. beschrieben habe[105]).

Wie schon GRUBER (l. c.) vermuthet hatte, nehmen die Difflugien das Baumaterial, welches bei den von mir untersuchten Exemplaren aus grossen und kleinen Sandkörnchen, sowie spärlichen Diatomeenschalen gemischt bestand (Taf. IV, Fig. 15a), in das Innere ihres Körpers auf. Um den Protisten möglichst viel Gelegenheit zur Aufnahme des Materials zu bieten und zugleich das gebotene Material von etwa früher aufgenommenem unterscheiden zu können, wurde den Gefässen, in denen die Protisten gehalten wurden, eine Quantität sehr fein pulverisirten,

---

[102]) Bütschli: „Die Protozoen". In Bronns Klassen und Ordnungen des Thierreichs. 1880.

[103]) A. Gruber: „Die Theilung der monothalamen Rhizopoden". In Zeitschr. f. wissensch. Zool. Bd. 36.

[104]) Carpenter: In Contemporary Review, april 1873.

[105]) M. Verworn: „Biologische Protistenstudien". In Zeitschr. f. wiss. Zool. 1888.

gefärbten Glases zugesetzt. Beobachtet man dann die Difflugia in einem Uhrschälchen, so sieht man sie unter normalen Verhältnissen ruhig zwischen den Glassplittern umherkriechen, ohne dass man eine Aufnahme derselben durch die Pseudopodien bemerken wird. Nie wird man finden, dass eine Difflugia ganz spontan ein Glassplitterchen etc. mit den Pseudopodien aufnähme. Die Scene ändert sich aber sofort, wenn man dem Uhrschälchen eine Erschütterung zufügt. Alsdann tritt die Seite 77 beschriebene Reizcontraction der vorher lang ausgestreckten Pseudopodien unter den characteristischen Erscheinungen ein: während das Pseudopodium langsam zurückgezogen wird, treten kleine hyaline Tröpfchen aus ihm hervor, fliessen zusammen und bilden um einen sich deutlich abgrenzenden Axenstrahl eine Aussenmasse mit unregelmässiger und klebriger Oberfläche. Letzterer Umstand ist für die Aufnahme des Gehäusebaumaterials von der grössten Bedeutung. Es bleiben nämlich in Folge der Klebrigkeit eine Anzahl von Glassplittern an den Pseudopodien kleben, die zum Theil beim Einziehen der Pseudopodien mit in das Innere des Protaplasmakörpers aufgenommen werden. Präparirt man von einer solchen Difflugia nach einiger Zeit das Gehäuse ab, so trifft man dann im Endoplasma ein kleines Häufchen von Glassplittern, das sich mit der Zeit gesammelt hat, an. Aus diesem Modus der Aufnahme des Gehäusebaumaterials geht schon zweifellos hervor, dass eine bewusste Auswahl dabei nicht stattfindet.

Der Bau des Gehäuses erfolgt dann, wie ich beobachtete, ebenfalls so, dass man nicht veranlasst sein kann, höhere psychische Vorgänge zur Erklärung desselben heranzuziehen. Bei der Theilung der Difflugia nämlich wölbt sich aus der Oeffnung der alten Schale eine Protoplasmamasse hervor, welche allmählig die Gestalt der Schale annimmt und an ihrer Oberfläche das aufgenommene Schalenmaterial ablagert. Dasselbe wird dann durch ein Secret, welches alsbald etwas erhärtet, zu einem festen Gehäuse zusammengekittet, die Theilung vollzieht sich, und man hat auf sehr einfache Weise eine neue Difflugia mit Gehäuse. Der ganze Gehäusebildungsvorgang ist also nichts als eine Begleiterscheinung des Theilungsprocesses, in welchem man wohl kaum die Mitwirkung eines höheren psychischen Factors vermuthen wird. Auch die Folgerungen, welche GRUBER[106]) geneigt ist,

[106]) A. Gruber: In Biolog. Centralblatt Bd. VIII No. 17.

in einem Referat über meine diesbezüglichen Untersuchungen zu ziehen, möchte ich durchaus nicht annehmen. GRUBER sagt nämlich: „Wenn es schon unsere Bewunderung in hohem Grade erregt, dass bei *Euglypha* und Verwandten immer gerade so viel Schalenplättchen im Mutterthier erzeugt werden, als der Tochterspross zum Aufbau seines zierlichen Gehäuses braucht, so staunen wir noch mehr, schon auf der niedersten Stufe organischen Lebens einen hoch ausgebildeten Instinct zu finden: die *Difflugia* weiss so gut wie die Phryganidenlarve aus den vielen Körpern, die sie auf dem Grunde des Wassers umgeben, diejenigen herauszufinden, die sich für den Schalenbau eignen, ja trotzdem die Sandkörnchen oder die Diatomeenschalen verschiedene Gestalt und Grösse haben, weiss sie das Quantum so richtig abzuschätzen, dass daraus eine Schale hergestellt werden kann, die ihrer eigenen annähernd congruent ist.“ Wie schon bemerkt, findet eine wirkliche Auswahl des Schalenmaterials nicht statt, als höchstens insofern zu grosse Glassplitter, wenn sie einen Augenblick kleben bleiben sollten, nicht mit in das Protoplasma aufgenommen werden, sondern sich durch ihre eigene Grösse und Schwere von den sich zurückziehenden Pseudopodien losreissen. Dies ist der Grund, weshalb auch bei *Difflugia urceolata* die das Gehäuse zusammensetzenden Sandkörnchen eine bestimmte Grösse nicht überschreiten, wohl aber *unter* derselben in allen Grössen vorhanden sind. So erklärt es sich auch sehr einfach, dass viele *Difflugien*formen ihr Gehäuse nur aus ganz kleinen Sandkörnchen aufbauen, während bei allen, die grössere Körner aufzunehmen im Stande sind, die Gehäuse, soweit ich beobachtet habe, zugleich auch kleine Körnchen enthalten, vorausgesetzt, dass überhaupt an dem Standort, wo die *Difflugia* lebt, verschieden grosses Baumaterial vorhanden ist. Aus der Beschaffenheit der Pseudopodienoberfläche, der Consistenz des Protoplasmas, dem grösseren oder geringeren Grade des Klebrigwerdens nach der Reizung und natürlich vor allen Dingen dem vorhandenen Schalenmaterial erklärt sich überhaupt zur Genüge die Erscheinung, dass das Gehäuse mancher Formen aus ganz bestimmtem Material gebildet wird, wie dies CARPENTER und andere Beobachter beschrieben haben, ohne dass dabei eine bewusste Auswahl stattfände.

Ferner habe ich nicht bemerken können, dass die *Difflugia* gerade so viel Baumaterial aufnimmt, als zum Gehäusebau nothwendig ist. Demnach ist also kein Grund vorhanden, ein Wissen,

eine Vorstellung oder Abschätzung beim Gehäusebau zu vermuthen.

Dass an einen bewussten oder überlegten Bau des Gehäuses überhaupt nicht gedacht werden kann, zeigen übrigens auch die folgenden Versuche: Wenn man mit einer Lanzette einen Theil des Gehäuses entfernt, so kann man die Difflugien mehrere Wochen in ganz normalem Zustande am Leben erhalten, ohne dass sie auch nur den geringsten Versuch machten, den Defect auszubessern. Ebenso kann man von einer Difflugia das ganze Gehäuse abpräpariren, ohne dass dieselbe ein neues baute. Das Protist lebt ungestört weiter, alle Functionen sind normal, selbst Baumaterial wird in grösseren Mengen aufgenommen, aber nie wird es zum Bau eines neuen Gehäuses verwerthet, ein Zeichen, dass die Gehäusebildung nur eine Begleiterscheinung des Theilnngsprocesses ist. Denn wenn die Difflugia überhaupt die Fähigkeit besässe, mit bewusster Auswahl Baustoffe aufzunehmen und mit Ueberlegung ein Gehäuse zu bauen, und wenn ihr die bewusste Vorstellung des Gehäuses vorschwebte, so würde sie nach Entfernung des alten ein neues Gehäuse bilden. Alle Versuche aber, selbst wenn sie sich über eine lange Zeit erstrecken, haben ein negatives Resultat.

Nach allen diesen Beobachtungen und Versuchen wird man die Erscheinungen bei der Nahrungsaufnahme und dem Gehäusebau mit höheren psychischen Vorgängen nicht in Verbindung bringen dürfen, da dieselben auf einfache Reizwirkungen zurückgeführt werden müssen. So wurde die Nahrungsaufnahme, soweit sie nicht dem Zufall überlassen ist, auf chemische und mechanische Reizwirkung, und die Aufnahme des Gehäusebaumaterials auf eine gelegentliche Begleiterscheinung der in Folge mechanischer Reizung auftretenden Contractionserscheinungen nachgewiesen, so dass eine bewusste Auswahl nach bestimmten Rücksichten in allen Fällen ausgeschlossen ist. Ebenso findeu auch andere Erscheinungen, die man etwa noch auf höhere psychische Vorgänge znrückführen wollte, wie bei der Conjugation etc., in den Thatsachen der spontanen Bewegungen sowie der Reizbewegungen ihre einfache Erklärung. Die bei den complicirteren Lebensthätigkeiten auftretenden Vorgänge erfordern insgesammt durchaus nicht die Annahme anderer psychischer Factoren, als derjenigen, welche den spontanen und Reizbewegungen zu Grunde liegen.

System der psychischen Grunderscheinungen im Protistenreich.

Nachdem gezeigt worden ist, dass alle Reizbewegungen der Protisten als Reflexbewegungen, alle spontanen als impulsive und automatische aufgefasst werden müssen, und dass es keine Bewegung giebt, die als Ausdruck bewusster Willensvorgänge angesehen werden könnte, ist es nunmehr möglich geworden, einen Ueberblick über die psychischen Grunderscheinungen bei den Protisten zu gewinnen. Den in den beschriebenen Bewegungen ihren Ausdruck findenden unbewussten Willensvorgängen liegen natürlich auch nur unbewusste Erkenntnissvorgänge zu Grunde, und zwar unbewusste Empfindungen den Reizbewegungen und unbewusste Vorstellungen den spontanen Bewegungen. Höhere Erkenntnissvorgänge finden sich nicht. Demnach kommt man zu folgendem System der psychischen Grunderscheinungen im Protistenreich.

I. Erkenntnissvorgänge.

1. *Unbewusste Empfindungen:*
   a. Lichtempfindungen. Helligkeitsempfindungen innerhalb bestimmter Farben und bestimmter Intensitätsgrenzen finden sich bei einigen Bacterien und Rhizopoden, bei vielen Flagellaten sowie allen Diatomeen, Oscillarien und Desmidiaccen. Dagegen sind völlig blind die Mehrzahl der Bacterien und Rhizopoden, einige Flagellaten und, wie es scheint, die meisten, ev. alle Ciliaten.
   b. Temperaturempfindungen. Steigende und sinkende Temperatur wird von allen Protisten empfunden.
   c. Mechanische Reizempfindungen. Gröbere mechanische Reize, wie Druck, Stoss, Erschütterung, wenn sie stark sind, werden von allen Protisten empfunden, feinere, wie schwache Berührungen, Wasserströmungen, vielleicht auch Consistenzgrade und Bewegungen des eigenen Körpers wahrscheinlich nur von manchen Rhizopoden und allen Infusorien.
   d. Tonempfindungen fehlen, wie es scheint, bei allen Protisten.
   e. Chemische Reizempfindungen. Sehr viele chemische Körper werden von allen Protisten em-

pfunden, doch giebt es eine Anzahl, die von manchen empfunden, von anderen nicht empfunden werden.

f. Elektrische Reizempfindungen. Galvanische Ströme werden in gewissen Intensitäten von allen Protisten empfunden.

2. *Unbewusste Vorstellungen:*

Alle unbewussten Empfindungen können als unbewusste Vorstellungen auftreten, wenn der betreffende Reiz nicht mehr vorhanden ist; doch lässt sich naturgemäss nicht in jedem gegebenen Falle nachweisen, was für Vorstellungen vorhanden sind.

II. Willensvorgänge.

Unbewusste Willensvorgänge können schliesslich durch alle unbewussten Empfindungen uud Vorstellungen veranlasst werden. Sie treten auf als:

1. *Reflexbewegungen,* unbewussten Empfindungen ihren Anstoss verdankend,
2. *impulsive* und *automatische Bewegungen,* aus unbewussten Vorstellungen entspringend.

Sie kommen wahrscheinlich bei allen Protisten vor.

Die Bewegungen der Theilstücke.

Haben die ersten beiden der oben angegebenen Untersuchungsmethoden über die Höhe des Seelenlebens der Protisten einige Aufschlüsse geliefert, so ist die dritte, die operative Methode geeignet, besonders über das Wesen der aufgefundenen psychischen Vorgänge Aufklärung zu verbreiten. Bei den folgenden Versuchen nach dieser Richtung muss aber immer das durch Beobachtung und Versuch gewonnene Thatsachenmaterial als Grundlage dienen, auf der sich die weiteren Untersuchungen aufbauen. Auch bei diesen Versuchen wird das bisherige Princip befolgt werden, erst eine Reihe von Thatsachen zu gewinnen und dieselben dann theoretisch zu verwerthen. Sie geben zunächst aus von der Frage nach dem Sitz der psychischen Vorgänge und werden daher festzustellen haben, wie sich die Bewegungen der Protisten an verschiedenen Theilstücken des Körpers verhalten.

Die Beobachtung, dass losgelöste Theile von zerquetschten Flimmerepithelzellen noch Bewegungen zeigen, ist schon öfter gemacht worden, und auch an Protisten wurde die gleiche Erscheinung constatirt. So hat MAX SCHULTZE [107]) schon an Milioliden gesehen, dass nach Zerquetschen der Schale die Pseudopodien noch eine Weile ihre Bewegungen fortsetzten, HAECKEL [108]) hat an Theilstücken von Protomyxa und Myxastrum, die er durch Zerzupfen mit der Nadel gewann, die Bemerkung gemacht, dass sie sich wie die unverletzten Moneren bewegten und spontane sowohl als Reizbewegungen zeigten, und endlich haben NUSSBAUM [109]) und GRUBER [110]) an Ciliaten gefunden, dass die Flimmerbewegung auch an kernlosen Theilstücken noch fortdauerte. Diese Thatsachen sind an sich schon von grosser Bedeutung, aber trotzdem durchaus nicht genügend gewürdigt. Ferner ist noch nie genauer untersucht worden (abgesehen von der Beobachtung HAECKELS an den genannten beiden Moneren, die ja kernlos oder, wie von einigen Seiten behauptet wird, vielkernig sind), wie sich die Bewegungen kernloser Theilstücke im Vergleich zu den Bewegungen kernhaltiger und besonders zu denen der unverletzten Protisten verhalten*). Ich lege gerade deshalb einen so grossen Werth auf die Kernlosigkeit der Theilstücke, weil der Zellkern von einigen Forschern, z. B. EIMER [111]), als psychisches Centrum, ja von manchen sogar als Centrum für die meisten physiologischen Functionen der Zelle

---

[107]) Max Schultze: „Das Protoplasma der Rhizopoden und der Pflanzenzellen". Leipzig 1863.

[108]) Haeckel: „Studien über Moneren und andere Protisten". In Biologische Studien Heft I. Leipzig 1870.

[109]) Nussbaum: „Ueber spontane und künstliche Theilung von Infusorien". In Verhandlungen des naturhistorischen Vereins der preuss. Rheinlande. Bonn 1884.

[110]) A. Gruber: „Beiträge zur Kenntniss der Physiologie und Biologie der Protozoen". In Ber. d. naturh. Ges. z. Freiburg i./B. 1886.

*) In der mir leider zu spät zu Händen gekommenen Arbeit von BALBIANI: „Recherches expérimentales sur la mérotomie des infusoires ciliés. Contribution à l'étude du role physiologique du noyau cellulaire". In recueil zoologique, Tome 5me 1888 hat der Verfasser unter Anderem auch die Bewegungen der kernlosen Theilstücke beachtet und ist an 3 Ciliatenformen zu denselben Resultaten gekommen wie ich bei meinen Untersuchungen.

[111]) Eimer: „Die Entstehung der Arten auf Grund von Vererben erworbener Eigenschaften nach den Gesetzen organischen Wachsens". I. Theil, Jena 1888.

gehalten wird. Bei der ungemein weitgehenden Bedeutung, welche die Kenntniss aller Vorgänge in der Zelle und ihren Theilen für die gesammte Erforschung des Lebens besitzt, muss natürlich jeder Beitrag dazu vom grössten Werth sein. Daher sind bei den folgenden Versuchen, wenn von Theilstücken ohne näheren Zusatz gesprochen wird, stets kernlose Theilstücke gemeint, und ich habe, falls die Kernlosigkeit des Theilstücks nicht ohne weiteres zu ersehen war, nach Beendigung eines Versuchs stets die Objecte gefärbt, um den sicheren Nachweis dafür zu liefern.

Fig. 22.

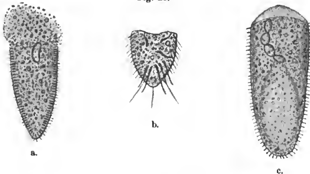


Was die Technik der Theilungsversuche betrifft, so habe ich mich zu diesen Operationen eines sehr einfachen Instrumentes bedient. Eine eiserne Nadel, die mit einem Schaft versehen war, wurde an der Spitze mit dem Hammer platt geschlagen und nun mit Feile und Schleifstein zu einer sehr dünnen und spitzen Lanzette mit äusserst scharfen Schneiden verarbeitet, deren Dicke nicht mehr als ca. 20 μm betrug. Die nebenstehende Figur 22 giebt die Form derselben in 4 maliger Vergrösserung an. Mit diesem Messerchen konnten die Operationen im offenen Tropfen unter dem Mikroskop ausgeführt werden, was natürlich bei den ungemein beweglichen Ciliaten, namentlich wenn es kleine Formen waren, viel, nur durch Uebung zu erlangende Geschicklichkeit und noch mehr Geduld erforderte. Bei einigen Formen, besonders wenn es darauf ankam, möglichst kleine Theilstücke zu erhalten, wurde eine andere Methode angewendet, die darin bestand, dass die Protisten in sehr wenig Wasser unter ein dünnes Deckgläschen gesetzt und dann mit eiuer spitzen Nadel durch einen lokalen Druck auf das nachgebende Deckglas vorsichtig zerdrückt wurden. Dabei sind natürlich die Theilstücke nicht immer so zu haben, wie man sie wünscht, und wie man sie mit der ersteren Methode nach Belieben erzielen kann, doch erlangt man auch so bei einer grösseren Anzahl von Versuchen stets passende Theilstücke.

Ueberhaupt muss noch hervorgehoben werden, dass die Theilungsversuche häufig misslingen, was einerseits der Schwierigkeit der Operation zuzuschreiben ist, andrerseits aber auch von der Beschaffenheit des betreffenden Protists abhängt. So können z. B. an vielen Protisten gar keine operativen Eingriffe gemacht werden, weil oft schon eine kleinc Verletzung sofort den körnigen

Zerfall des Körperprotoplasmas verursacht. An der verletzten Stelle lösen sich nämlich dann die Körnchen des Protoplasmas, die vorher dicht unter einander verbunden waren, von einander los (Fig 23a), Form und Inhalt des Körpers zerfliesst und die Bewegung erlischt damit. Dieser Process greift langsamer oder schneller immer weiter um sich, indem er sich schliesslich über den ganzen Körper verbreitet oder bisweilen an einer Stelle anhält, die dem Zerfall grösseren Widerstand entgegensetzt. Im letzteren Fall bleibt das nicht betroffene Stück noch am Leben und kann event. zur Beobachtung verwendet werden, während alle übrigen Theile des Körpers todt sind. So kriecht der Tod gewissermassen wie das Feuer an einer Lunte von einer Stelle aus allmählig über den ganzen Körper des Protists hin und man kann mit dem Mikroskop die einzelnen Theile Stück für Stück hinter einander sterben sehen. Dabei behält der Kern seine Form und sein Aussehen meist unverändert bei und ist nachher der einzige geformte Körper in einem regellosen Körnerhaufen. Der Process befällt auch manchmal Formen, die sonst sehr gut die Zertheilung vertragen, und man kann nicht genau sagen, wovon der körnige Zerfall bedingt ist. Den Formen, die durch ihre Neigung zum Zerfall bei operativen Eingriffen sich nicht zu Theilungsversuchen eignen, stehen die gegenüber, welche

Fig. 23.



a. Paramaecium aurelia nach Durchschneidung körnig zerfallend.
b. Stylonychia pustulata, hintere abgeschnittene Körperhälfte, die Wunde behält ihren scharfen Contour ohne Narbenstrictur.
c. Spirostomum ambiguum, hinteres abgeschnittenes Körperende, die Wunde zeigt rundliche Narbenstrictur.

dieselben ohne Schwierigkeit ertragen. Bei diesen schliesst sich dann gewöhnlich die Schnittfläche wieder zusammen zu einer rundlichen Narbe (Fig. 23 c) oder nimmt doch wenigstens einen scharfen und deutlichen Contour an (Fig. 23 h), der immer ein Zeichen ist, dass kein Zerfall stattfinden wird.

Der eben besprochene Gesichtspunkt ist es aber nicht allein, welcher die Wahl der Protisten für die folgenden Versuche bestimmt, vielmehr muss noch darauf gesehen werden, dass die zu wählenden Protisten möglichst charakteristische Bewegungserscheinungen zeigen mit bestimmten Merkmalen, die sich event. an Theilstücken sofort wieder erkennen lassen. Denn nimmt man Formen, die nur ganz indifferente Bewegungen ausführen, so kann man an Theilstücken nur schwer erkennen, ob sich hier die Bewegungen noch ebenso verhalten oder ob sie andere geworden sind.

Endlich sind natürlich solche Protisten zu wählen, die wo möglich nur einen Kern haben, oder bei denen die Kerne so gelagert und gestaltet sind, dass man durch Theilungen überhaupt kernlose Theilstücke gewinnen kann. Aus alledem geht also hervor, dass sich nur eine beschränkte Zahl von Protisten für Theilungsversuche eignen wird, und so haben denn auch nur zwei Klassen Verwendung gefunden, die allerdings im vollsten Maasse für den vorliegenden Zweck genügen dürften, das sind die Rhizopoden, unter denen wohl die niedrigsten Protistenformen zu suchen sind, und die Ciliaten-Infusorien, welche die höchste Entwicklung im Protistenreich repräsentiren. Zum Schluss sei noch bemerkt, dass alle Versuche in grösserer Anzahl angestellt wurden, um eventuelle Täuschungen vollständig auszuschliessen.

I. Die spontanen Bewegungen der Theilstücke.

1. Rhizopoden.

Amoeba princeps (Taf. III, Fig. 12). Sehr grosse einkernige Exemplare dieser Form konnten verhältnissmässig leicht mit der Lanzette in zwei Theile zerschnitten werden, deren einer kernlos war. Der Erfolg war zunächst, dass beide Theilstücke sich zu einer Kugel zusammenzogen (Taf. III, Fig. 12 h, d). Nach mehreren Secunden aber begann die Kugel ihren Körperumriss zu verändern, es wurde an einer Stelle ganz langsam ein stumpfes Pseudopodium vorgestreckt, das sich allmählig etwas verlängerte,

an einer andern Stelle bildete sich ein ähnliches Pseudopodium, der Körperinhalt strömte nach, und das kernlose sowohl als das kernhaltige Theilstück fing an, langsam zu kriechen, ganz in derselben Weise wie eine unverletzte Amoebe (Taf. III, Fig. 12c, e). Leider wird in dem kernlosen Theilstück und bisweilen auch in dem kernhaltigen schon nach kurzer Zeit die Bewegung immer matter, die Pseudopodien werden allmäblig eingezogen und nicht wieder ausgestreckt, so dass das Theilstück wieder mehr oder weniger vollkommene Kugelgestalt bekommt, die es nicht wieder verändert. Man muss annehmen, dass nun allmählig der Tod eintritt, obgleich kaum weitere Veränderungen im Protoplasma zu bemerken sind. Sehr häufig erfolgt auch schon der Tod in beiden Theilstücken sofort nach der Zerschneidung, so dass sie ihre Kugelgestalt gar nicht erst verändern. Der Grund dafür ist mir nicht bekannt.

In einem Falle traf es sich so günstig, dass der Schnitt den Amoebenkörper in zwei Theile theilte, von denen der eine den Kern, der andere die Vacuole enthielt, und dass beide Theilstücke noch einige Zeit am Leben blieben (Taf. III, Fig. 12). Als nach mehreren Secunden das kernlose Theilstück wieder zu kriechen und Pseudopodien vorzustossen begann, konnte deutlich beobachtet werden, dass sich die Vacuole wie an der unverletzten Amoeba in derselben mässigen Geschwindigkeit contrahirte und ganz verschwand, um nach einiger Zeit ebenso allmählig wieder zum Vorschein zu kommen. Leider habe ich diese Beobachtung später nicht wieder machen können, und ich wage einem vereinzelten Fall keinen grossen Werth beizulegen*).

Bei Amoeba princeps ist also zwischen den Bewegungen eines kernlosen Theilstücks und denen eines kernhaltigen sowie des unverletzten Individuums durchaus kein Unterschied, nur in sofern zeigt sich eine Verschiedenheit, als das kernlose Theilstück in jedem Falle nach kurzer Zeit seine Bewegungen einstellt und stirbt, während das kernhaltige meist am Leben bleibt.

Pelomyxa palustris (Taf. IV, Fig. 13). Diese grosse amoebenähnliche Rhizopodenform ist zwar vielkernig, gestattet aber doch sehr gut die Lostrennung kernloser Theilstücke, wenn man

*) Neuerdings hat Balbiani (l. c.) an Cyrtostomum leucas ebenfalls die Beobachtung gemacht, dass die Vacuole auch in kernlosen Theilstücken noch fortfährt zu pulsiren, wenn auch bald in unregelmässiger Weise, so dass hiermit die obige Beobachtung an Amoeba wohl gesichert sein dürfte.

nämlich ein kleines abgezupftes Stückchen (Taf. IV, Fig. 13a), das sich genau so verhält wie das ganze Individuum, unter dem Deckglase in der oben beschriebenen Weise zerdrückt. Dabei erhält man Theilstücke in der allerverschiedensten Grösse, unter denen sich auch stets eine grosse Anzahl von kernlosen befinden. Die grössten kernlosen Stücke enthalten gewöhnlich einige Sandkörnchen (Fig. 13e, f, Taf. IV), mit denen das ganze Protist über und über vollgestopft ist. Ein solches Theilstück nimmt sogleich nach seiner Lostrennung vom Körper Kugelgestalt an, wobei die Sandkörnchen und gröberen Körperbestandtheile sich stets in der Mitte der Kugel ansammeln, während das Protoplasma je mehr nach aussen, um so hyaliner erscheint (Taf. IV, Fig. 13e). Es ist gleichgültig, von welchem Theile des Körpers das Stück abgetrennt wird, ob aus dem Innern oder von aussen, stets bildet sich dieselbe Anordnung, bei der die gröberen Bestandtheile den Mittelpunkt bilden, entsprechend der unter allen Rhizopoden verbreiteten Erscheinung, dass das Endoplasma stets die gröberen Elemente, das Exoplasma die hyaline Grundmasse zeigt. In dieser Anordnung der Massen im Theilstück aus jeder beliebigen Körperregion liegt ein deutlicher Beweis dafür, dass nicht, wie BRASS[112]) annimmt, im Rhizopodenkörper streng von einander abgegrenzte Schichten von ganz verschiedener physiologischer Function existiren, sondern dass die scheinbare Differenzirung nichts als eine durch rein physikalische Ursachen erzeugte Lagerung der grösseren oder kleineren, schwereren oder leichteren Theilchen des Körperinhalts innerhalb der hyalinen Grundmasse ist.

Ebenso wie die grösseren Theilstücke nehmen auch die ganz kleinen, gänzlich hyalinen*) sofort nach der Lostrennung vom Körper vollkommene Kugelform an (Taf. IV, Fig. 13b), die sie einige Secunden, mitunter bis 1 Minute lang beibehalten. Alsdann tritt an einer Stelle der Oberfläche eine niedrige Hervorwölbung auf, die sich zu einem breiten, kurzen, stumpfen Pseudopodium gestaltet, wie es für Pelomyxa sehr charakteristisch ist. Dieser Pseudopodienbildung folgt bald an einer anderen Stelle die Bildung eines zweiten, und so beginnt das

[112]) Brass: „Biologische Studien“. Theil I Heft 1.

*) Um übrigens ein Missverständniss auszuschliessen, sei hier bemerkt, dass unter „hyalinem“ Protoplasma nur hyalin erscheinendes Protoplasma verstanden werden soll. Absolut hyalin, d. h aller unterscheidbaren Elemente entbehrend, ist wahrscheinlich überhaupt kein Plasma.

Theilstück langsam zu kriechen (Taf. IV, Fig. 13c, d), indem das übrige Protoplasma und hei den grösseren Theilstücken anch die Sandkörnchen etc. träge nachströmen. So führt ein einziges kleines Protoplasmaklümpchen, das nicht mehr als 3 μm im Durchmesser hat, genau dieselben Bewegungen aus, zeigt genau denselben Typus der Pseudopodienbildung wie das unverletzte Protist, aus dessen Körper es stammt. Auch bei Pelomyxa dauern die Bewegungen nicht mehr sehr lange Zeit an, sie werden anch hier mit der Zeit langsamer .nnd hören schliesslich ganz auf, je nach der Grösse des Stückes, an kleineren früher, an grösseren später.

Difflugia urceolata (Taf. IV, Fig. 15). Difflugia urceolata ist wegen ihrer beträchtlichen Grösse eins der günstigsten Objecte unter den Rhizopoden für operative Versuche. Zwar ist auch diese Form vielkernig [113]), doch liegen die Kerne derart im Endoplasma beisammen, dass es äusserst leicht ist, mit der Lanzette sowohl ganz grosse, als kleine kernlose Stücke abzuschneiden. Wie bei den anderen Rhizopoden bewirkt anch hier die Durchschneidung zunächst eine Contraction des Theilstücks, die sich in mehr oder minder vollständigem Kugligwerden äussert (Taf. IV, Fig. 15, b). Dieser Znstand ist indessen schnell vorübergehend, denn schon nach wenigen Secunden beginnt ein Protoplasmavorstoss hervorzutreten, der sich zu einem langen fingerförmigen Pseudopodium auszieht (Taf. IV, Fig. 15c), das bisweilen die ganze Masse des Theilstücks zu seiner Bildung verbraucht. Von diesem Pseudopodium zweigen sich auf die gleiche Weise nach und nach weitere fingerförmige Pseudopodien ab (Taf. IV, Fig. 15d), die wieder anderen Patz machen, und dieser Vorgang wiederholt sich immer von neuem, während das Theilstück fortkriecht (Taf. IV, Fig. 15e, f, g). Ein ganz kleines, in allen seinen Theilen vollständig gleichförmiges Protoplasmaklümpchen, das vom Difflugienkörper losgetrennt ist, zeigt also die sehr charakteristische Bewegungsart der unverletzten Rhizopoden, eine Fortbewegung durch Bildung von langen fingerförmigen Pseudopodien. Sogar sehr kleine Theilstücke von Difflugia setzen ihre Bewegungen in völlig normaler Weise noch lange Zeit hindurch fort, und ich habe sie nach 5 Stnnden im Tropfen auf dem Objectträger noch in Bewegung

[113]) M. Verworn: „Biologische Protistenstudien". In Zeitschr. f. wiss. Zool. 1888.

gesehen. Wie lange die Bewegungsfähigkeit andauert, habe ich nicht untersucht, ebenso wenig wie ich hier oder bei den Theilstücken der meisten anderen Protisten besondere Vorkehrungen getroffen habe, um sie längere Zeit am Leben zu erhalten, da ich auf die kürzere oder längere Dauer der Bewegungen für den vorliegenden Zweck gar keinen Werth lege.

Theilstücke, die auch etwas Endoplasma enthielten, nahmen gleich nach der Lostrennung die entsprechende Anordnung ihrer Elemente an, wie sie bei Pelomyxa beschrieben wurde. Die gröberen Bestandtheile, wie Sandkörnchen, Nahrungstheile und die vielen olivenfarbigen Kügelchen (Fettkügelchen?) etc. nahmen die Mitte ein, während das hyaline Protoplasma der Pseudopodien die äussere Schicht bildete. Uebrigens ist das bei schwächeren Vergrösserungen völlig hyalin erscheinende Protoplasma der Pseudopodien von Difflugia, wie man sich bei Anwendung starker Systeme überzeugen kann, ganz fein und matt granulirt, nur werden die Körnchen auch hier nach dem Rande zu noch feiner. (Taf. IV, Fig. 15h.)

Dass sich kernhaltige Stücke ebenso verhalten wie kernlose, braucht kaum noch erwähnt zu werden, und ebenso ist es für das Verhalten der Theilstücke vollständig gleichgültig, ob sie noch ein Stück des Gehäuses besitzen oder nicht. Sie benehmen sich in jeder Hinsicht so, als ob sie noch mit dem übrigen Körper der Difflugia im Zusammenhang wären.

Arcella vulgaris (Taf. IV, Fig. 14). Die Pseudopodienbildung von Arcella hat viele Aehnlichkeit mit der mancher Amoebenformen. Die Pseudopodien sind stumpf, breitlappig bis kurzfingerförmig und quellen wie bei lebhaften Amoeben häufig mit einem Ruck hervor, um sich dann langsam zu vergrössern. Man kann von Arcella sehr bequem mit der Lanzette beliebige Stücke, selbst einzelne Pseudopodien abschneiden; jedoch bekommt man ganz kleine Stücke am besten durch Zerdrücken. Durch sanften Druck auf das Deckglas mit der Nadel werden einzelne abgeschnürte Protoplasmatheilchen aus der Schale herausgepresst und nehmen sofort vollkommene Kugelgestalt an (Taf. IV, Fig. 14b). Wieder sind dabei die gröberen Körnchen in der Mitte, und das ganz durchsichtige Protoplasma an der Oberfläche angesammelt, es hat sich also gewissermassen im Augenblick der Lostrennung an dem Theilstück wieder ein etwas körniges Endoplasma und ein hyalines Exoplasma differenzirt. Nach einer kurzen Zeit der Ruhe

schon wölbt sich an irgend einer Stelle der Kugel das hyaline Protoplasma etwas vor, und nicht lange, so bricht mit einem Ruck an einer Stelle ein Pseudopodium hervor (Taf. IV, Fig. 14c), welches sich mehr oder weniger lang auszieht und das körnige Protoplasma in sich nachströmen lässt. Die so entstehenden Pseudopodien sind durchaus nicht schmaler und dünner als die des unverletzten Rhizopoden, wie man etwa bei der Kleinheit der Stücke, die bisweilen kaum 6 μm gross waren, glauben könnte, sondern haben dieselben Dimensionen wie an der ganzen Arcella, was dem Theilstück ein etwas plumperes Aussehen verleiht, als dem ganzen Protist eigen ist. Diese kleinen Protoplasmaklümpchen, welche ziemlich lebhaft im Wasser umherkriechen (Taf. IV, Fig. 14c, d), haben die grösste Aehnlichkeit mit kleinen Amoeben, abgesehen natürlich von dem Fehlen des Kerns und der Vacuolen. Im übrigen verhalten sie sich in ihren Bewegungen genau wie die Pseudopodien einer unverletzten Arcella.

Actinosphaerium Eichhornii (Taf. II, Fig. 7 u. Taf. IV, Fig. 16). Dieses grosse Heliozoum eignet sich wegen seiner Vielkernigkeit wenig zu Zerschneidungen für den vorliegenden Zweck, besitzt aber andererseits so charakteristische Formbildung und Bewegung der Pseudopodien, dass ich mich bemüht habe, durch Zerdrücken unter dem Deckglas kleinere kernlose Theilstücke zu erhalten, was auch bei einiger Vorsicht gelang. Bei dieser Methode wird nämlich das grosse Protist in viele kleine Fetzen zerpresst, die sich alsbald zu lauter kleinen Kügelchen abrunden (Taf. IV, Fig. 16a), theils mit, theils ohne Kerne, wie man bei nachträglicher Färbung mit Pikrocarmin sehen kann. Nach längerer Zeit, ca. $\frac{1}{4}$—$\frac{1}{2}$ Stunde, während welcher dieselben ganz ruhig liegen, beginnt allmählig die Psendopodienbildung wieder, und es zeigt sich, dass dieselbe in ganz der gleichen Weise wie beim unverletzten Actinosphaerium erfolgt. Es tritt langsam eine freie Spitze aus der scharf begrenzten Oberfläche der Kugel hervor (Taf. IV, Fig. 16b), die sich immer mehr und mehr herausstreckt und dabei mit Protoplasma überkleidet, bis sie die Beschaffenheit eines normalen Pseudopodiums hat, auf dessen Axenstrahl das Protoplasma träge entlang fliesst. Leider habe ich nie mit Sicherheit nachweisen können, ob der Axenstrahl bei der Einziehung aufgelöst, und beim kernlosen Theilstück nachher wieder neu gebildet wird. Der Umstand, dass die kleinsten, ca. 30 μm grossen Theilstücke, welche noch

neue Pseudopodien bildeten, deren immer nur 1 oder 2 entwickelten, scheint mir darauf hinzuweisen, dass wohl nur aus den Resten der alten Axenstrahlen neue Pseudopodien gebildet werden.

Bisweilen gelang es, durch einen plötzlichen Druck auf das Deckglas einzelne lang ausgestreckte Pseudopodien ohne das darunter liegende Protoplasma vom Körper loszutrennen. Kurz nach der Lostrennung begann sich das Protoplasma, welches den Axenstrahl vorher in gleichmässig dicker Schicht umfloss, zu einem oder mehreren spindel- oder kugelförmigen Klümpchen besonders am einen Ende des Axenstrahls anzusammeln (Taf. IV, Fig. 16c, d, e). Alsbald wurde dann dadurch, dass alles Protoplasma nach und nach zu diesen Spindeln heranglitt, der Axenstrahl an den übrigen Stellen vollständig vom Protoplasma entblösst, ohne dabei seine Gestalt zu verändern. Die Spindeln selbst glitten schliesslich ebenfalls langsam auf dem Axenstrahl entlang und vereinigten sich meist zu einem einzigen grösseren Klümpchen an dem einen Ende des Axenstrahls (Taf. IV, Fig. 16e). Nach einiger Zeit aber fing dasselbe an, sich in die Länge zu strecken, das Protoplasma begann wieder langsam auf dem Axenstrahl entlang zu gleiten (Taf. IV, Fig. 16f) und bildete bald einen gleichmässigen Ueberzug, so dass das Pseudopodium schliesslich wieder genau dasselbe Aussehen und dieselbe Protoplasmabewegung hatte, welche die Pseudopodien normaler Weise zeigen, wenn sie noch mit dem Körper im Zusammenhang stehen. Lange dauert indessen das Leben eines solchen einzelnen Pseudopodiums nicht, da zuletzt sich das ganze Protoplasma an einem Ende des Axenstrahls zu einem einzigen Klümpchen zusammenzieht und hier in Ruhe verharrt, ein Zeichen des allmähligen Absterbens.

Lieberkühnia Wagneri (Taf. V, Fig. 17). Die Kernverhältnisse der Lieberkühnia sind bis jetzt noch ziemlich dunkel. Die älteren Beobachter haben niemals Kerne in diesem Protist entdecken können. Neuerdings hat MAUPAS[114]) eine grosse Menge kleiner Kerne bei ihm nachgewiesen, während GRUBER[115]) in einer nur durch die Grösse unterschiedenen Form des Seewassers blos einen einzigen grossen Kern fand.

---

[114]) Maupas, in Comptes rendus de l'académie etc. Juli 1882.

[115]) A. Gruber: „Ueber einige Rhizopoden aus dem Genueser Hafen". In Ber. d. naturforschenden Ges. z. Freiburg i/B. Bd. IV, 1888.

Das reichliche Material, welches mir gelegentlich zur Verfügung stand, veranlasste mich ebenfalls die Kernverhältnisse dieses sonst so seltenen Protists, zu untersuchen und danach muss ich sehr Bedenken tragen, der Angabe von Maupas beizustimmen. Trotz Anwendung der verschiedensten Färbemittel, wie Ammon-Pikrocarmin, (mit oder ohne vorherige Tödtung durch Osmiumsäure) essigsaurem Carmin, Boraxcarmin mit Essigsäurezusatz, Haematoxylin nach Kleinenberg oder nach Flemming, Methylenblau, Methylviolett, Osmiumsäure, Essigsäure etc., konnte nie die Anwesenheit irgend welcher Gebilde constatirt werden, die mit Sicherheit als Kerne zu deuten gewesen wären. Dunkler sich färbende Körperchen von sehr verschiedener Grösse machten durchaus nicht den Eindruck von Kernen, vielmehr schienen sie eher gefärbte Ballen von veränderter Nahrung oder anderweitige Stoffwechselproducte zu sein (Taf. V, Fig. 17b). Auch machte ich die Beobachtung, dass sie bei Exemplaren, die mehrere Tage im Uhrschälchen mit klarem Wasser gestanden hatten in weit geringerer Zahl vorhanden waren als in den direct aus dem Schlamm entnommenen. Daher ist es mir im höchsten Maasse wahrscheinlich, dass Lieberkühnia Wagneri ein echtes Moner ist, d. h. eine Rhizopodenform, in welcher es noch zu keiner sichtbaren morphologischen Differenzirung derjenigen chemischen Stoffe, welche bei anderen Protisten die Kernsubstanz ausmachen, gekommen ist. Dieser Gesichtspunkt ist natürlich auch bei der Beurtheilung der Theilungsversuche im Auge zu behalten.

Das äusserst deutliche Strömen der grossen, stark lichtbrechenden Körnchen in den lang ausgestreckten, weitverzweigten Pseudopodien ist dasjenige Moment, welches die Bewegungen der Lieberkühnia denen aller anderen Süsswasser-Rhizopoden gegenüber höchst charakteristisch erscheinen lässt. Mit Leichtigkeit kann man von dem häufig bis 0,3 mm grossen Protist grössere oder kleinere Pseudopodienmassen abschneiden und sie lange Zeit am Leben erhalten.

Gleich nach dem Abschneiden sieht man die Körnchen auf den Pseudopodien sämmtlich nach einem Mittelpunkte in proximaler Richtung zusammenströmen, und zwar immer dahin, wo eine grössere Protoplasmaanhäufung vorhanden ist. Auf diese Weise fliesst das Protoplasma sämmtlicher Pseudopodien im Verlauf weniger Minuten zu einem einzigen unregelmässigen Klumpen zusammen, der wie immer in seiner Mitte die gröberen Elemente

enthält und nur wenige kurze Ausläufer besitzt (Taf. V, Fig. 17c). Wiederum einige Minuten später beginnen dann diese Ausläufer sich wieder zu langen Pseudopodien auszustrecken, auf denen man vorwiegend Körnchenströmung in distaler Richtung erblickt. Die Pseudopodien verzweigen sich bald zu einem maschenreichen Netzwerk, das eine solidere Centralmasse umgiebt, und bieten dann mit dem Wandern ihrer Körnchen denselben Anblick, als ob man eine mit dem Körper noch im Zusammenhang stehende Pseudopodienmasse vor sich hätte (Taf. V, Fig. 17d). Ein einzelnes Pseudopodium, das man vom Körper abschneidet, verhält sich ganz ebenso, und bildet bald selbst wieder zahlreiche dünnere, von einem Mittelpunkt ausgehende Pseudopodiennetze.

Polystomella crispa (Taf. V, Fig. 18). Dieses Polythalam ist für Theilungsversuche ungemein geeignet, denn die bestimmte Lage des einzigen Kernes, den es enthält, gestattet es stets, Theilstücke abzuschneiden, die sicher kernlos sind, deren Kernlosigkeit schliesslich durch Entkalkung und Färbung noch erhärtet werden kann. Die Schale ist dünn genug, um dem Abschneiden beliebig grosser kernloser Theilstücke kein Hinderniss entgegenzusetzen, und nur die grosse Klebrigkeit des Protoplasmakörpers bietet einige unbedeutende Schwierigkeiten. Hat man ein Theilstück losgetrennt, so zieht dieses alle Pseudopodien, die etwa ausgestreckt waren, in die Schale hinein, und auch das innere Protoplasma zieht sich in der Regel von den blossliegenden Schnittstellen nach und nach hinter die nächsten Kammerwände zurück. So verharrt das Theilstück lange Zeit. Endlich streckt es aber ganz wie eine unverletzte Polystomella wieder Pseudopodien aus (Taf. V, Fig. 18b), die deutliche Körnchenströmung zeigen, sich zu Bündeln und Netzen vereinigen, gelegentlich wieder zurückgezogen und von neuem ausgestreckt werden und sich überhaupt ganz so verhalten, als wenn das Stück gar nicht losgetrennt worden wäre. Diese Theilstücke bewahren, wie ich gelegentlich anderer Versuche beobachtet habe, sehr lange ihre Lebensfähigkeit; so habe ich z. B. ein Theilstück, das nur die Hälfte des Protoplasmas einer einzigen Kammer enthielt (Taf. V, Fig. 18b), noch nach 14 Tagen ganz normal mit reichlicher Pseudopodienbildung gefunden, und ein etwas grösseres Theilstück lebte noch fast 3 Wochen, bis es behufs sicheren Nachweises seiner Kernlosigkeit getödtet und gefärbt wurde.

Auch einzelne Pseudopodienbündel ohne Schale, ja sogar einzelne unverzweigte Pseudopodienfäden lassen sich ohne be-

sondere Schwierigkeit mit der Lanzette unter dem Mikroskop abtrennen (Taf. V, Fig. 18c). Dieselhen lassen hald nach dem Abschneiden ganz ähnliche Erscheinungen wahrnehmen wie die Pseudopodien von Actinosphaerium Eichhornii, indem sich nämlich ebenfalls das Protoplasma derselhen zu einzelnen kleinen Kügelchen und Spindeln sammelt (Taf. V, Fig. 18d), wohei die Körnchenströmung ausnahmslos die Richtuug nach diesen Kügelchen als den Sammelpunkten einschlägt. Erst nach mehreren Minuten fangen die Kügelchen und Spindeln sich zu strecken an (Taf. V, Fig. 18e), und das Protoplasma strömt nun langsam wieder auf der alten Bahn entlang, die durch das klehrige Secret, vermöge dessen das Pseudopodium auf der Unterlage haftete, bezeichnet ist. Auch neue Seitenzweige entstehen an dem Pseudopodium, auf welche die Körnchenströmung sich fortsetzt (Taf. V, Fig. 18f). Ein solches abgeschnittenes Pseudopodium verhält sich also in jeder Beziehung so, als ob es noch mit dem Polythalamienkörper zusammenhinge. Nach Verlauf von 40—60 Minuten jedoch wird die Körnchenbewegung immer langsamer und erstarrt schliesslich ganz. Der Tod tritt ein.

2. Ciliaten.

Spirostomum ambiguum (Taf. VI, Fig. 19). Dieses grosse ciliate Infusor neigt zwar sehr zum körnigen Zerfall hei Verletzungen, erträgt aher doch häufig selbst schwerere operative Eingriffe ganz gut, indem sich die Wunde narhig schliesst (Fig. 23c), und eignet sich besonders wegen seiner Grösse zu Theilungsversuchen. Der regelmässige Schlag der langen Peristomwimperreihe, die spontane Umkehr des Wimperschlages, sowie die Contractionen der Myoïde sind die Bewegungen, welche am meisten ins Auge fallen. Trennt man ein Stück, etwa von der vorderen Spitze des Protists ab (Taf. VI, Fig. 19b), so ist zunächst die Wimperbewegung in demselhen hedentend heschleunigt. Bald nimmt dieselbe jedoch wieder ihre normale Geschwindigkeit an, und man bemerkt, dass auch jetzt noch der Schlag der Peristomwimpern ein ganz regelmässiger und rhythmischer ist, und dass keine Wimper ausser der Reihe schlägt. Bisweilen schwimmt das Theilstück ein kurzes Stück rückwärts, entsprechend der Umkehr der Wimperbewegung, wie sie das unverletzte Protist zeigt, und von Zeit zu Zeit erfolgt eine plötzliche Contraction der Myoïde ohne irgend eine sichtbare Veranlassung. Die Be-

wegungen des Theilstücks verhalten sich also ganz, als ob dasselbe sich noch am unverletzten Protist befände.

Spirostomum teres (Taf. VI, Fig. 20). Auch bei dieser Form kann man denselben Versuch mit dem gleichen Erfolg machen, ja man kann sogar wegen der Kleinheit des Kerns dieser Form leicht sehr grosse Stücke ohne Kern abschneiden. Dieselben zeigen, nachdem die in Folge des Durchschneidens eingetretene Beschleunigung der Wimperbewegung nachgelassen hat, durchaus das Benehmen des unverletzten Protists, so dass ein unbefangener Beobachter grössere Theilstücke ohne Bedenken für ganze Individuen halten könnte. Sie schwimmen gerade aus, dann plötzlich wieder ein kurzes Stück zurück und zucken auch gelegentlich einmal zusammen. Eine scheinbare Unregelmässigkeit in der Bewegungsbahn, die auch bei anderen Ciliaten häufig zu beobachten ist, wird durch die veränderte Gestalt des Theilstücks bedingt, ein Umstand, auf den hier besonders aufmerksam gemacht werden muss, da er leicht Anlass zu Täuschung geben kann. Es kommt nämlich vor, dass an der Schnittfläche, ehe sich die Wunde schliesst, ein Theil des Protoplasmas herausquillt und so dem Ende, an welchem sich die Schnittfläche befindet, eine unregelmässige Gestalt verleiht, indem z. B. noch Fetzen von herausgequollenen Massen daran hängen bleiben. Dass diese die Bewegung modificiren müssen, ist klar, da sie nach dem Princip des Steuers wirken. So beschrieb z. B. ein Theilstück von Spirostomum teres, das die vordere Hälfte des Protists repräsentirte, beim Schwimmen eine Kreisbahn, wie es Fig. 20b, Taf. VI veranschaulicht. Erst als der Fetzen am hinteren Ende durch eine glückliche Operation entfernt worden war (Taf. VI, Fig. 20c), schwamm das Theilstück wie ein normales Spirostomum vorwärts, ein Zeichen, dass die Bewegungsstörung rein äusserliche Ursachen hatte. Aehnliche Unregelmässigkeiten kann man sehr oft an Theilstücken beobachten, und man muss sich hüten, dieselben etwa von irgend welchen psychischen Störungen herzuleiten.

Auch das hintere abgeschnittene Ende von Spirostomum teres, welches fast ganz von der ungeheuer grossen Vacuole erfüllt ist, benimmt sich nach Lostrennung vom Körper noch durchaus normal, wie am vollständigen Spirostomum, obgleich die Protoplasmamenge des Theilstücks sich auf eine ganz dünne Wandschicht beschränkt (Taf. VI, Fig. 20d).

Stentor coeruleus (Taf. VI, Fig. 21). Dieselben Beobachtungen

wie an Spirostomum kann man auch an Stentor coeruleus machen, und auch hier wird man sich hüten müssen, die Unregelmässigkeit der Bewegungsbahn, die z. B. ein Theilstück, wie es in Fig. 21 b, Taf. VI dargestellt ist, zeigt, auf innere Ursachen zurückzuführen. Die Bewegungsbahn und die Bewegungslage eines jeden Infusors ist natürlich ausser durch die Anordnung und Thätigkeit der Wimpern hauptsächlich durch seine Gestalt bedingt, und es leuchtet ohne weiteres ein, dass sich ein unregelmässiges Theilstück des Peristoms in anderer Bahn und anderer Lage von der Stelle bewegen wird als ein ganzer Stentor, obgleich die Bewegung der Wimpern selbst genau dieselbe geblieben ist. Letztere Thatsache aber ist das Wichtige bei der Erscheinung.

Lacrymaria olor (Taf VI, Fig. 22). Lacrymaria ist ein Ciliat, das sich durch seine besonders auffälligen Bewegungen auszeichnet (vergl. Seite 32). Bei den Bewegungen kommt trotz der geringen Differenzirung der Wimpern doch jedem Körperabschnitt seine eigenthümliche Bewegungsform zu. Der Körper mit den unregelmässig metabolischen Bewegungen, der Hals, der wie ein Gummifaden bald bis über die 8fache Körperlänge ausgestreckt, bald zu halber Körperlänge zurückgezogen wird und sich in einem fort bald nach hier, bald nach dort biegt, das vordere Ende, das mit seinen längeren Mundwimpern alle Gegenstände im Wasser betastet, alles macht einen höchst charakteristischen Eindruck. Dazu kommt noch ein ewiges Vor- und Zurückgehen des ganzen Körpers, hervorgebracht durch das Schlagen der Körperwimpern bald nach hinten, bald nach vorn, sowie das plötzliche Zusammenzucken und das Fortschwimmen in gerader Richtung. Das ganze Benehmen des Protists macht, wie schon früher bemerkt, den Eindruck, als ob es unaufhörlich im Wasser etwas suchte.

Es ist allerdings schwierig, dem rastlos sich bewegenden Ciliaten bestimmte Körpertheile abzuschneiden, dennoch aber gelingt es bei einiger Geduld.

Hat man das hintere, stumpfe Körperende abgeschnitten (Taf. VI, Fig. 22f), so ist die Wimperthätigkeit, wie nach allen Operationen an Ciliaten überhaupt, etwas erhöht und das Theilstück bewegt sich im Zustande der Contraction, der ebenfalls noch Folge der Reizung ist, taumelnd durch das Wasser. Bald tritt aber die normale Bewegungsschnelligkeit wieder ein, die andauernde Contraction der Myoïde lässt nach (Taf. VI, Fig. 22g)

und statt ihrer beginnt die metabolische Bewegung des Stücks, welche den Körper des unverletzten Ciliats auszeichnet, begleitet von abwechselndem Vorwärts- und Rückwärtsschlagen der Wimpern.

Das mittlere Theilstück enthält natürlich immer den Kern und benimmt sich ebenfalls seinem Verhalten im Zusammenhange mit dem übrigen Körper entsprechend.

Am interessantesten verhält sich der Hals. Nachdem er anfangs im Zustande der Contraction mit dem Mundtheile voran in gerader Richtung schnell durch das Wasser geschwommen ist (Taf. VI, Fig. 22 c), genau wie es das ganze Protist, besonders nach Reizung bisweilen thut (Taf. VI, Fig. 22 b), beginnt er nach Ueberwindung dieses Reizstadiums, sich ab und zu etwas zu strecken und darauf wieder zu contrahiren, während dessen seine Fortbewegung durch das Wasser langsamer und schliesslich ganz normal wird. Die Streckungen werden immer länger, und das vordere Ende fängt an, sich fortwährend umzubiegen und seine charakteristischen Tastbewegungen auszuführen, bis nach kurzer Zeit der abgeschnittene Halstheil genau dieselben charakteristischen Bewegungen zeigt wie im Zusammenhange mit dem Körper (Taf. VI, Fig. 22 d). Er sucht rastlos zwischen den Schlammtheilchen im Wasser umher, indem er sich mit grosser Gewandtheit bald hier- bald dorthin wendet und mit seinem Mundtheile alle Gegenstände betastet.

Der kurz abgeschnittene Mundtheil (Taf. VI, Fig. 22 e) schliesslich muss auch erst ein Reizstadium überwinden, bis er zum normalen Bewegungszustand zurückkehrt. Alsdann läuft er mit seinen langen Mundwimpern ähnlich wie die hypotrichen Ciliaten mit ihren Bauchwimpern auf und zwischen den Gegenständen im Wasser herum und betastet Alles, wie er es im Zusammenhange mit dem übrigen Körper zu machen pflegt.

Gerade Lacrymaria liefert ein vortreffliches Beispiel dafür, dass jeder Körpertheil auch nach seiner Abtrennung vom Körper noch dieselben Bewegungen ausführt, die er ausführte, als er noch im Zusammenhange mit demselben stand.

Loxophyllum fasciola und **Loxodes rostrum.** Diese beiden Ciliaten führen mit ihrem vorderen Körpertheil ähnliche tastende Bewegungen aus wie Lacrymaria olor. und auch bei ihnen zeigen die betreffenden Theile, wenn sie mit der Lanzette vom Körper getrennt sind, dasselbe Verhalten, wie im Zusammenhange mit demselben.

Epistylis plicatilis (Taf. VI, Fig. 23). Mit der Lanzette ist bei Vorticelliuen wegen ihrer Kleinheit und des Zusammenzuckens bei der Berührung nur sehr schwer eine Operation auszuführen. Man ist daher auch mehr auf die Methode des Zerdrückens angewiesen. Hiermit gelang es mir öfter, kernlose Stücke abzutrennen, und besonders bekam ich in einem Falle ein sehr geeignetes Theilstück. Durch den Druck war nämlich der ganze Peristomtheil kurz unterhalb der Peristomränder mitsammt der Mundöffnung losgetrennt worden und die Wunde hatte sich sofort geschlossen (Taf. VI, Fig. 23b). Nach Ueberwindung des Excitationsstadiums, welches sich in einem rapiden Umherwirbeln in Folge des heftigen Schlages der Peristomwimpern äusserte, trat eine ruhigere Bewegung ein, indem die Peristomwimpern mit der gewöhnlichen Geschwindigkeit ihr regelmässiges Spiel trieben. Dadurch wurde natürlich das Theilstück im Wasser umhergeführt, etwa so, wie man es bei freischwärmenden Epistylis-Köpfchen beobachten kann. Bisweilen blieb es auch mehr an einem Orte und machte nur mit geringen Ortsveränderungen verbundene Drehbewegungen. Die Wimpern selbst gebrauchte das Theilstück gerade wie das ganze Protist. In der Regel waren sie nach aussen umgeschlagen (Taf. VI, Fig. 23c). Von Zeit zu Zeit aber wandten sie sich wie bei der unverletzten Epistylis ohne äussere Veranlassung mit einem Ruck mehr nach innen, eine mehr senkrechte Stellung zum Peristomfelde einnehmend (Taf. VI, Fig. 23b), und schlugen in dieser Lage kurze Zeit weiter, um dann ebenso plötzlich wieder nach aussen umzuschlagen und nun in dieser Stellung wieder ihr Spiel fortzusetzen etc. Die Bewegungen des Theilstücks waren also ganz dieselben wie die eines noch mit dem Körper zusammenhängenden Peristoms, nur dass durch die Lostrennung eine freie Beweglichkeit im Wasser gegeben war, die dem Theilstück die grösste Aehnlichkeit mit dem Verhalten vom Stiele losgetrennter Epistylis-Köpfchen verlieh.

Auch das hintere kernlose, vom Stiel abgetrennte Körperende von Epistylis bekam ich öfter beim Zerdrücken. Da dieses aber auch im Zusammenhange mit dem Epistyliskörper nur wenig charakteristische Bewegung zeigt, so beschränkte sich dem entsprechend die Bewegung dieser Theilstücke ebenfalls auf ein gelegentliches spontanes Zusammenzucken, durch Contraction der feinen Myoïde hervorgerufen.

Vorticella nebulifera. Auch bei dieser Form musste die

Methode des Zerdrückens angewendet werden, bei welcher es denn häufig glückte, Stiele ohne Köpfchen zu erhalten, die noch einige Zeit am Leben blieben. Niemals aber kam es vor, dass diese vom Körper losgetrennten Stiele eine spontane Contraction ihres Myoïds wahrnehmen liessen, woraus man schliessen muss, dass die Impulse für die spontanen Contractionen der unverletzten Vorticella nur vom Körperprotoplasma ausgehen können. Die gleiche Beobachtung ist leicht an Stöcken von

Carchesium polypinum zu machen, an denen man die Stiele ebenfalls durch einen vorsichtigen Druck auf das Deckglas ihrer Köpfchen berauben kann, ohne sie zu verletzen.

Stylonychia pustulata (Taf. VI, Fig. 24). Bei den hypotrichen Ciliaten, die überhaupt wohl die Spitze der Ciliatenentwicklung repräsentiren, hat die Differenzirung der Wimpern ihre Höhe erreicht. Am Körper der Stylonychia sind allein wenigstens 5 verschiedene Wimpergruppen vorhanden, deren jeder eine andere Function für die Bewegung zukommt. Die Peristomwimpern haben durch ihren regelmässigen Schlag hauptsächlich Nahrung herbeizustrudeln, die Bauchwimpern ermöglichen dem Ciliat die höchst bezeichnenden Geh- und Lauf-Bewegungen, die Randwimpern dienen dazu, die freien Schwimmbewegungen hervorzubringen, die Sprungwimpern bewirken die springende Rückschnellbewegung und die drei längeren Afterwimpern wirken entweder als Steuer oder vielleicht als Bremse. Man hat also an Stylonychia eine grössere Anzahl sehr charakteristischer Bewegungen, welche das Ciliat als ein ungemein günstiges Object für Theilungsversuche erscheinen lassen. Leider macht die Kleinheit und Beweglichkeit dieser Form die systematische Abschneidung von bestimmten, wenigstens kleineren Körpertheilen sehr schwierig, und man wird daher hauptsächlich die Zerdrückungsmethode anwenden, ohne übrigens für die Gewinnung grösserer Theilstücke von der Zerschneidungsmethode gänzlich Abstand zu nehmen. Aber auch die Zerdrückungsmethode liefert ganz brauchbare Theilstücke, obschon häufig die Bewegungsbahn dabei in hohem Grade durch die unregelmässige Gestalt der Bruchflächen, welche sich nicht wie bei anderen Ciliaten abrunden, beeinflusst wird. Doch lassen sich diese durch solche äusserlichen Ursachen erzeugten Bewegungsstörungen bei einiger Uebung auf den ersten Blick erkennen. Auch lehrt ja die Beobachtung mehrerer Theilstücke derselben Körperregion von ver-

schiedenen Individuen die wesentlichen Momente von den durch äussere Störungen bedingten sofort unterscheiden.

Alle Theilstücke zeigen, wie überhaupt bei jedem Theilungsversuch, zunächst das Excitationsstadium, in welchem, wie bei jeder stärkeren Reizung des unverletzten Protists, die Wimperthätigkeit bedeutend erhöht ist, während meist alle Wimpergruppen gleichzeitig thätig sind. Dieses Stadium geht bald vorüber und es treten nun die Bewegungen ein, welche dauernd bestehen bleiben.

Losgerissene Stücke des Peristoms (Taf. VI, Fig. 24 d) setzen, wie dies ebenfalls bei den anderen Ciliaten schon gezeigt wurde, in normaler Weise ihre regelmässigen Bewegungen fort, indem sie ganz wie im Zusammenhange mit dem Körper von Zeit zu Zeit ohne sichtbaren Grund Pausen machen, die nur von einzelnen kurzen Schlägen der Wimperreihe unterbrochen sind, bald wieder continuirlich, rhythmisch schlagen u. s. f.

Kernlose Theilstücke, die nur Bauchwimpern besitzen, zu erhalten, ist etwas schwieriger, und dieselben haben in der Regel ziemlich unregelmässige Form. Doch lassen sich trotzdem bei ihnen die eigenthümlichen Laufbewegungen sehr gut beobachten. Ein solches kleines Theilstück, welches nur etwa 3 oder 4 Bauchwimpern besitzt (Taf. VI, Fig. 24 f), geht und läuft wie eine vollständige S t y l o n y c h i a auf den Schlammtheilchen umher, bleibt stehen, läuft wieder weiter, setzt dabei bald die eine, bald die andere Wimper vor, kurz es benimmt sich vollständig normal.

Stücke vom Rande, die nur mit Randwimpern besetzt sind (Taf. VI, Fig. 24 e), verhalten sich nach Ueberwindung des Excitationsstadiums, in welchem sie durch rhythmisches Schlagen der Wimpern lebhaft durch das Wasser gestrudelt werden, ziemlich ruhig; nur ab und zu erfolgt ein Schlag oder auch wohl mehrere aufeinander folgende Schläge der Randwimpern, welche das Stück in der durch seine Gestalt bedingten Bahn vorwärts bewegen. Auch am ungereizten und unverletzten Protist sind ja diese Wimpern verhältnissmässig selten in Thätigkeit.

Theilstücke, die ausser Sprungcirrhen keine anderen Wimpern enthalten, bekommt man ebenfalls nur selten. Einmal aber glückte es mir sogar, ein kleines Stück des Körpers mit nur einer einzigen Sprungcirrhe zu beobachten, die noch obendrein ganz hart an der Bruchstelle inserirt war (Taf. VI, Fig. 24 g, g', g''). Das Theilstück schlug mit seiner Cirrhe anfangs sehr heftig. Bald

aber nahm es das normale Verhalten an. Die Cirrhe, welche nach hinten gerichtet war, wurde von Zeit zu Zeit plötzlich nach vorn geschnellt, wodurch dem Theilstück ein kurzer Ruck nach rückwärts ertheilt wurde. Darauf kehrte sie selbst wieder in die Ruhelage zurück, indem sie ihre Primitivwimpern einzeln zurückfallen liess (Taf. VI, Fig. 24 g").

Gewöhnlich bekommt man beim Zerdrücken jedoch Theilstücke, die nicht blos eine einzige Wimperart, sondern Wimpern von verschiedenen Gruppen enthalten. Derartige Stücke kann man aber auch mit der Lanzette abschneiden. So wurde z. B. das in Fig 24 b, Taf. VI dargestellte kernlose Theilstück erhalten. Die Bewegungen dieses Stückes waren absolut dieselben wie die einer ganzen Stylonychia, nur fehlte der Peristomwimperschlag vollständig. Jede Wimpergruppe machte die für sie bezeichnenden Bewegungen: die Bauchwimpern liefen auf den Gegenständen im Wasser herum, wobei der Körper immer mit der Schnittfläche voran gerichtet war, die Randwimpern gaben bisweilen einzelne Impulse zur Schwimmbewegung und ab und zu schnellten die Schläge der Sprungcirrhen das Theilstück eine kurze Strecke zurück. Die Function der drei langen Afterwimpern ist mir dabei nicht ganz klar geworden. Ich habe sie nie in Bewegung gesehen und glaube, dass sie überhaupt kaum activ bewegt werden, wie es z. B. auch bei den langen Borstenwimpern von Stentor Roeselii der Fall ist.

Fig. 24.



Das vordere vom Körper abgeschnittene Ende benahm sich in ganz entsprechender Weise. Es lief mit seinen Bauchwimpern umher, das Vordertheil voran gerichtet, stand still, ging wieder weiter und liess die Wimpern seines Peristoms in der gewöhnlichen Weise spielen (Fig. 24 c, Taf. VI).

In einem Falle trennte sich beim Druck auf das Deckglas ein langer schmaler Streifen des einen Körperrandes von vorn bis hinten ab, der in der Mitte nur sehr dünn war (Fig. 24). Vorn enthielt er einen Theil der Peristomwimpern, in der Mitte einige Randwimpern und hinten drei Sprungcirrhen. Trotzdem an diesem Streifen jede Wimpergruppe ihre normalen Bewegungen machte, wurde doch die Locomotion des Fetzens durch seine unregelmässige Gestalt dermaassen beein-

flusst, dass keine coordinirte Bewegung zu Stande kam; vielmehr wirkten der vordere und der hintere Abschnitt sogar häufig in entgegengesetztem Sinne und hinderten sich gegenseitig in ihren Bewegungen, wodurch ein völlig unregelmässiges Drehen und Schlenkern im Wasser erzeugt wurde. Dieser Fall liefert ein ausgezeichnetes Beispiel dafür, wie sehr die Bewegungsbahn und die einheitliche Zusammenwirkung der einzelnen Bewegungen von der Gestalt des Protists bedingt wird.

Uroleptus musculus. Die Versuche an Uroleptus hatten ganz ähnliche Ergebnisse wie die an Stylonychia, nur kommt als ein sehr charakteristisches Moment für Uroleptus noch die Metabolie in Betracht, welche sich in einem fortwährenden suchenden Umhertasten des Protists mit dem vorderen Körpertheil äussert, während dasselbe zwischen und auf den Schlammtheilchen unermüdlich umherläuft. Schneidet man dem Uroleptus den kernlosen Vordertheil ab, so sieht man diesen in derselben Weise seine Bewegungen fortsetzen, wie wenn er nicht vom Körper getrennt wäre.

Hinsichtlich der spontanen Bewegungen der Protisten ergeben also die Theilungsversuche die Thatsache, dass alle, selbst die kleinsten Theilstücke des Protistenkörpers nach Ueberwindung eines Reizstadiums, das sich bei den Rhizopoden in Körpercontractionen, bei den Ciliaten in Beschleunigung der Wimperbewegung äussert, genau dieselben Bewegungen ausführen, die sie im Zusammenhange mit dem Körper ausführten*).

*) Die Beobachtungen Balbianis an Cyrtostomum leucas, Trachelius ovum und Prorodon niveus, welche in der oben citirten Arbeit niedergelegt sind, bilden übrigens in jeder Beziehung eine Bestätigung der obigen Ergebnisse, und ich kann mir nicht versagen einige Bemerkungen Balbianis wenigstens an dieser Stelle noch anzuführen. Cyrtostomum leucas: „Le premier phénomène qu'on observe après la séparation des deux moitiés consiste en une agitation rapide de celles-ci dans le liquide . . .“ „Mais au bout de quelques heures, chaque moitié a retrouvé son orientation naturelle et se dirige dans le sens où elle serait mue si elle était placée sur un individu complet . . .“ „On n'observe d'abord aucune différence dans les allures du mérozoïte nucléé et du mérozoïte sans noyau . . .“ „La durée de la vie, chez le mérozoïte non nucléé, est généralement de deux à trois jours, mais j'en ai observé dont l'existence s'est prolongée jusqu'au septième ou huitième jour après la section.“

II. Die Reizbewegungen der Theilstücke.

Wenn schon der blossen Zerschneidung der meisten Protisten sich grosse Hindernisse in den Weg stellen, so ist die Anwendung von Reizen auf Theilstücke im allgemeinen mit noch viel grösseren Schwierigkeiten verknüpft. Von der Anwendung mancher Reize ist deshalb nur ein sehr beschränkter Gebrauch gemacht worden, und von der Anwendung von Lichtreizen musste ganz Abstand genommen werden, da die lichtreizbaren Protisten, über welche verfügt wurde, sämmtlich ganz ungeeignet für Theilungsversuche waren. Es bleibt hier künftigen Untersuchungen noch ein grosses und fruchtbares Feld offen. Am leichtesten liessen sich die mechanischen Reize verwenden, und mit ihnen sind auch die meisten Reizversuche angestellt worden.

1. Rhizopoden.

a. Wärmereize.

Polystomella crispa. Die Thatsache, dass Wärmereize für alle lebenden Organismen wirksam sind, lässt schon vermuthen, dass die Wärmereizbarkeit überhaupt jedem lebenden Protoplasma zukommt, was der Versuch an Polystomella auch bestätigt. Kernlose Theilstücke, die zahlreiche lange Pseudopodienbündel ausgestreckt hatten, wurden auf dem heizbaren Objecttisch langsam erwärmt, wobei sich zeigte, dass bei einer Temperatur von ca. 30—35° C. allmählig ihre Pseudopodien anfingen schlaff zu werden und sich von der Unterlage zu lösen. Gleichzeitig wurden sie langsam retrahirt, indem die Körnchen sämmtlich proximale Strömungsrichtung annahmen. Nach mehreren Minuten, besonders wenn die Temperatur noch etwas gesteigert wurde, waren dann alle Pseudopodien in die Schale zurückgezogen. Dieses Verhalten entspricht durchaus dem der unverletzten Polystomella bei Einwirkung der Wärme.

Weitere Versuche über die Wirkung von verschiedenen Temperaturen auf die Bewegungen der kernlosen Theilstücke anderer Protisten wurden nicht angestellt. Dieser eine genügt aber vollkommen, um zu zeigen, dass das Verhalten kernloser Theilstücke der Wärme gegenüber dasselbe ist, wie das der unverletzten Protisten.

b. Mechanische Reize.

Dass auch mechanische Reize auf kernlose Theilstücke eine Wirkung auszuüben vermögen, geht schon aus dem Excitationsstadium der kernlosen Theilstücke hervor, welches die Folge des heftigen Durchschneidungsreizes ist, und das sich wie bei allen unverletzten Rhizopoden in dem Bestreben äussert, Kugelgestalt anzunehmen. Aber auch nachdem dies Stadium vorübergegangen ist, bleibt die Reizbarkeit noch bestehen, wie die folgenden Versuche zeigen.

Difflugia urceolata. Wenn man von den Pseudopodien dieses Rhizopoden kleine Stücke abschneidet, so nehmen dieselben Kugelform an und fangen dann nach einiger Zeit wieder an umherzukriechen. Reizt man nun diese Stücke mit denselben Reizen, die am unverletzten Protist die charakteristischen Contractionserscheinungen (vergl. Seite 77) hervorbringen, also Erschütterung oder stärkere Berührung mit einer Nadel, so bemerkt man auffälliger Weise nur eine Sistirung der Bewegung, ohne eine merkliche Contraction. Eine solche erzielt man erst, wenn man sehr starke Reize, wie Stiche mit der Nadel oder noch besser erneute Durchschneidung, in Anwendung bringt. Dann tritt eine Contraction ein, die indessen auch jetzt noch nicht ausreicht, um ganz vollkommenes Kugligwerden herbeizuführen.

Wählt man die Theilstücke dagegen etwas grösser, so gelingt dies bei sehr starken Reizen wohl, während auch schwache Reize nur geringe Contractionen ohne Kugligwerden verursachen und ohne die charakteristische Trennung einer Aussenmasse und eines Axenstrangs.

Erst bei ganz grossen Theilstücken kann man durch stärkere Reize zunächst Bildung der Aussenmasse etc. an den Pseudopodien und dann Annahme von mehr oder weniger vollkommener Kugelform und auch durch schwache Reize beträchtliche Contractionen der Pseudopodien erreichen. Ich habe zur genaueren Untersuchung dieser Erscheinungen eine grosse Reihe von Versuchen angestellt, die mir schliesslich das folgende gesetzmässige Verhalten ergaben. *Die grössere oder geringere Vollkommenheit der Contractionserscheinungen, nicht nur der kernlosen, sondern überhaupt aller Theilstücke für eine bestimmte Reizstärke hängt ab von der Grösse des Theilstücks, in der Weise, dass je kleiner das Theilstück ist, um so stärkere Reize angewendet werden müssen, und je grösser dasselbe*

ist, um so schwächere Reize ausreichen, um vollkommene Contraction zu bewirken. Es ist dabei vollständig gleichgültig, ob ein Theilstück von bestimmter Grösse einen oder mehrere Kerne enthält, oder ob es ganz kernlos ist; der Grad der Contractionsfähigkeit ist davon unabhängig. Jedenfalls aber beweisen diese Versuche, dass auch kernlose Theilstücke noch auf mechanische Reize durch Contractionen reagiren.

Lieberkühnia Wagneri. Nachdem die abgeschnittenen Theilstücke ihr normales Verhalten angenommen und Pseudopodien ausgestreckt haben, kann man durch Erschütterungen wie bei einer ganzen Lieberkühnia Retraction der Pseudopodien erzeugen, während deren die Körnchenströmung stets proximale Richtung einschlägt. Waren die Erschütterungen nur schwach, so bleibt die Retraction unvollkommen, die Pseudopodien verkürzen sich nur bis zu einem gewissen Grade, um sich nach einiger Zeit wieder weiter auszustrecken, genau in derselben Weise, wie es im entsprechenden Falle die unverletzte Lieberkühnia thut. Eine Abhängigkeit der Contractionsgrösse von dem Volumen der Theilstücke habe ich hier nicht bemerken können und ebenso wenig bei

Polystomella crispa, deren Theilstücke im wesentlichen dieselben Erscheinungen zeigten. In beiden Fällen verhielten sich also die kernlosen Theilstücke den Reizen gegenüber ebenso wie die unverletzten Rhizopoden.

c. Galvanische Reize.

Difflugia urceolata. Die galvanische Reizung hatte denselben Erfolg wie die mechanische, nur trat die oben beschriebene Gesetzmässigkeit hier noch viel deutlicher hervor, da die Methodik der galvanischen Reizung in Rheochord und Schlitteninductorium die Mittel an die Hand giebt, den Reiz in viel feinerer Weise abzustufen, als dies bei mechanischen Reizen möglich ist. Hier kann man sehr leicht einen Reizwerth ausfindig machen, bei dem selbst die kleinsten kernlosen Theilstücke der Pseudopodien vollkommene Kugelgestalt annehmen.

2. Ciliaten.

a. Mechanische Reize.

Auch bei den Ciliaten äussert sich schon in dem Excitationsstadium der Theilstücke unmittelbar nach ihrer Lostrennung vom Körper eine ganz normale Wirkung heftiger mechanischer Reizung,

und die gleichen Erscheinungen kann man erzielen, nachdem das Stück wieder zur normalen Bewegung zurückgekehrt ist.

Spirostomum ambiguum. Es ist sehr leicht, die abgeschnittenen Stücke durch Reizen mit einer spitzen Nadel zur Contraction zu veranlassen, indem die im Theilstück enthaltenen Reste der Myoïde auf jeden Reiz plötzlich zusammenzucken. Durch heftigere Eingriffe, wie Stechen mit der Nadel oder Einschneiden mit der Lanzette, gelingt es auch die Wimperbewegung vorübergehend zu beschleunigen.

Lacrymaria olor. Reizt man etwa den abgeschnittenen Halstheil dieses Protists, nachdem das Excitationsstadium vorüber ist, mit einer Nadel, so erfolgt sofort eine Contraction desselben. Sticht oder quetscht man ihn aber stärker, so contrahirt er sich ebenfalls, schwimmt aber sogleich unter heftiger Axendrehung in Folge gesteigerter Wimperthätigkeit im Zustande der Contraction stürmisch gerade durch das Wasser hin, bis allmählig die Contraction nachlässt und nur noch einzelne Zuckungen erfolgen, während gleichzeitig auch die Wimperbewegung wieder langsamer wird um schliesslich bis auf die normale Geschwindigkeit herabzusinken. Dies entspricht vollkommen dem typischen Verhalten der unverletzten Lacrymaria bei heftiger Reizung.

Vorticella nebulifera und

Carchesium polypinum. Die Reizcontractionen der Myoïde lassen sich an den abgerissenen Stielen dieser beiden peritrichen Ciliaten besonders gut beobachten, und der Stiel der Vorticellen ist ja auch ein Object, das schon Kühne zu vielen Versuchen in dieser Richtung benutzt hat. Wenn die Stiele vom Körper getrennt werden, zucken sie sofort in der ihnen eigenthümlichen Weise zusammen und strecken sich alsdann langsam wieder aus. Wie oben bereits bemerkt wurde, tritt nie eine spontane Contraction an den losgetrennten Stielmyoïden auf. Dagegen reagiren sie, ganz als ob das Köpfchen noch daran wäre, wenn man den Objectträger nur etwas erschüttert, oder wenn man den Stiel direct mit einer Nadel berührt. Die Contraction selbst führt natürlich nur das Myoïd aus, während die elastische Hülle sich passiv zur Spirale aufrollt. Bei der Streckung dagegen ist die Elasticität der Hülle das wesentliche Moment, indem sie die Hülle in dem Maasse wieder gerade zu strecken strebt, wie die Contraction des Myoïds nachlässt. Die Erschlaffung des Myoïds beginnt dabei, wie ich stets beobachtete, am proximalen Ende und schreitet in distaler Richtung nach dem Fusspunkte zu

vorwärts, was sich aus dem Umstand ersehen lässt, dass die Hülle sich immer zuerst am proximalen Ende wieder zu strecken beginnt. Während des Absterbens strecken sich stets die Stiele ganz aus, wenn sie vorher contrahirt waren, und bleiben gestreckt, da die Elasticität der Hülle noch lange bestehen bleibt, während das Myoïd sich schon zersetzt.

Stylonychia pustulata. Die diese Ciliaten charakterisirenden Sprungbewegungen, mit denen das unverletzte Protist jeden Reiz beantwortet, lassen sich ebenso leicht auch an kernlosen Theilstücken erzielen. Auf jede Erschütterung oder Berührung tritt ein Schlag der Sprungcirrhen nach vorn ein, welcher dem Theilstück einen Ruck nach der entgegengesetzten Richtung verleiht, was sogar an dem oben beschriebenen Theilstück beobachtet werden konnte, das nur eine einzige Sprungcirrhe enthielt und nicht grösser als 15 μm war.

Die Theilstücke, welche die Randwimpern enthalten, werden durch starke Reize zu schnellen Schwimmbewegungen veranlasst, und falls die Peristomwimperreihe sich noch an dem Theilstück befindet, macht letzteres ganz die gleichen taumelnden Schwimmbewegungen mit Axendrehung, wie die ganze Stylonychia, wenn sie heftig gereizt wird.

b. Chemische und galvanische Reize

schliesslich haben auf Theilstücke den gleichen Einfluss wie alle übrigen. So bewirken sie, wie z. B. bei Vorticella und Carchesium gut zu beobachten ist, Zuckungen der Myoïde und verursachen, wie ich an Theilstücken von Lacrymaria, Stentor etc. sah, Aenderungen in der Wimperbewegung, die analog denen sind, welche das unverletzte Protist bei denselben Reizen bemerken lässt.

Die Reizversuche an den kernlosen Theilstücken führen also zu demselben Ergebniss, wie die Untersuchung der spontanen Bewegungen: nach Ueberwindung des Excitationsstadiums rufen Reize an kernlosen Theilstücken die gleichen Bewegungserscheinungen hervor wie am unverletzten Protist. Freilich kann dies zunächst nur von den bei den Versuchen angewandten Reizqualitäten gesagt werden, da über die Wirkungen des Lichts auf Theilstücke sowie auch über manche Wirkungsweisen der übrigen Reize, z. B.

über die tropischen Wirkungen, noch keine Beobachtungen vorliegen. Doch ist es höchst wahrscheinlich, dass auch in dieser Beziehung die kernlosen Theilstücke sich ebenso verhalten werden wie die unverletzten Individuen. Sicherstellen können das natürlich erst künftige Versuche.

Folgerungen aus den Theilungsversuchen.

Die kritische Verwerthung der vorstehenden Theilungsversuche führt nun zu einer Reihe von höchst wichtigen Ergebnissen. Vor allem beweisen die Versuche unzweifelhaft, dass die Bewegungen der Protisten nicht Aeusserungen von Impulsen sind, die von einem einheitlichen oder von einigen wenigen psychischen Centren innerhalb des Protistenkörpers ausgehen, wie dies von manchen Autoren (Rossbach, Engelmann, Eimer u. a.) angenommen wurde, sondern dass ihre Ursache vielmehr direct in den Protoplasmatheilchen liegt, an welchen sie verlaufen. Selbst die complicirtesten und scheinbar planmässigsten Bewegungen repräsentiren lediglich eine Summe, die durch Zusammenwirkung vieler Einzelbewegungen entsteht, deren jede die Function eines kleinen Protoplasmatheilchens ist, eine Ansicht, die in ähnlicher Weise schon Gruber geäussert hat, indem er veranlasst durch Beobachtungen bei der Fortpflanzung der Infusorien durch Theilung, sagte, „dass die Willensäusserung jedes Protoplasmaelement gleichmässig beherrscht“. Die Bewegungen stehen also, wie die Versuche zeigen, durchaus nicht unter dem unmittelbaren Einfluss des Kerns, da dieselben sogar in günstigen Fällen noch fast 3 Wochen, nachdem der Kern entfernt ist, in normaler Weise fortgesetzt werden. Der Kern kann daher keinesfalls als psychisches Centrum aufgefasst werden; vielmehr ist jedes Protoplasmatheilchen selbstständiges Centrum für die an ihm auftretende Bewegung, d. h. jede Einzelbewegung ist der Ausdruck der in jedem einzelnen Protoplasmatheilchen sich abspielenden Processe und die Gesammtbewegung eines Protists ist nur die Summe der vielen kleinen Einzelbewegungen.

Mit diesem Ergebniss scheint eine Thatsache nicht im Einklang zu stehen, das ist die Erscheinung, dass an manchen Protisten in der That ganz einheitlich geordnete Bewegungen

existiren. Ein ausgezeichnetes Beispiel ist die Bewegung der Peristomwimpern der Ciliaten. Wenn jede Wimper mit ihrem anhängenden Protoplasma ihre eigene Selbstständigkeit besitzt, so muss die Frage entstehen, wie es kommt, dass nicht jede Wimper auch ihre eigene, von der anderen unabhängige Bewegung macht, sondern dass eine alle Wimpern beherrschende Gesetzmässigkeit des Wimperschlages resultirt, eine regelmässige Welle, die in periodischer Weise über alle Wimpern verläuft. Die Wimpern schlagen nicht nur stets in derselben Frequenz der Schwingungen (Rhythmus) bei gleicher Amplitude, sondern sie schlagen auch sämmtlich nach derselben Richtung und immer in derselben Reihenfolge.

Dies Problem verdient eine eingehendere Behandlung. Man stelle sich eine lange Wimperreihe von rhythmisch schlagenden Wimpern vor, wie etwa die Peristomwimperreihe von Spirostomum ambiguum. Die Impulse für die Bewegung jeder Wimper werden aus den mit ihr zusammenhängenden Protoplasmatheilchen geliefert, denn Theilungsversuche zeigen, dass jede Wimper mit einem Stückchen anhängenden Protoplasmas die Fähigkeit hat, sich zu bewegen; und zwar muss man annehmen, dass jede Wimper in der Zeiteinheit dieselbe Anzahl von Impulsen gleicher Stärke von ihrem anhängenden Protoplasmatheilchen erhält wie jede andere, resp. dass, wenn die erregende Ursache eine continuirliche ist, dieselbe im normalen Zustande für jede Wimper gleiche Intensität besitzt. Das geht daraus hervor, dass man beliebig kleine Stücke aus der Wimperreihe herausschneiden kann, deren Wimpern alle mit gleicher Frequenz und gleicher Amplitude weiter schlagen, obgleich die Stücke nicht mehr unter einander im Zusammenhange stehen. Diese Thatsache allein würde indessen noch nicht erklären, weshalb auch die Reihenfolge, in welcher an der ganzen Wimperreihe alle Wimpern hinter einander schlagen, der strengsten Gesetzmässigkeit unterworfen ist. Zur Erklärung dieser Erscheinung muss man sich vorstellen, dass die Wimpern in einem gewissen Verband unter einander stehen, dass an den Basen der Wimpern einer solchen Reihe ein feiner molekularer Mechanismus irgend welcher Art vorhanden ist, der jede Wimper in ein Abhängigkeitsverhältniss zu ihren benachbarten setzt, in der Weise, dass jede Bewegung jeder Wimper stets auch eine gleichsinnige Bewegung jeder benachbarten Wimper bewirkt. Dann ist es klar, dass eine Regelmässigkeit in der Bewegung der Wimpern

einer Peristomreihe nothwendig das Resultat sein muss, in ähnlicher Weise wie bei einer Reihe neben einander aufgestellter Zinnsoldaten der Sturz des ersten den aller übrigen der Reihe nach bedingt. Welcher Art der Mechanismus an den Wimperbasen ist, ob dabei chemische oder physikalische Vorgänge im Spiele sind, muss natürlich vorläufig dahingestellt bleiben. Die Existenz eines solchen molekularen Wimperbasenmechanismus lässt sich aber experimentell beweisen, und zwar auf operativem Wege. Ist nämlich ein solcher Mechanismus die Ursache der Regelmässigkeit in der Aufeinanderfolge der Wimperschläge, so muss man diese Regelmässigkeit durch einen Einschnitt in die Wimperreihe an der betreffenden Stelle unterbrechen können.

Fig. 25.

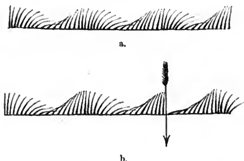


Diese Operation, sowie die Beobachtung des Resultats ist nun ausserordentlich schwierig und gelingt nicht in allen Fällen, denn einerseits ist die Ausführung eines so feinen Schnittes nicht leicht, und andrerseits erschwert die Kleinheit der Wimpern und die Schnelligkeit ihrer Bewegung die Beobachtung ungeheuer. Die Operation wurde an Spirostomum ambiguum (Fig. 25) und Stentor coeruleus gemacht. Bei ersterem wurde die Einschneidung mit der Lanzette mit blossem Auge ausgeführt, und das Object dann sofort unter dem Mikroskop bei stärkerer Vergrösserung beobachtet, und bei Stentor wurde der Einschnitt während der Beobachtung im offenen Tropfen unter dem Mikroskop ausgeführt. Die Beobachtung gelang am besten, wenn, wie das häufig an den Peristomwimperreiben dieser Ciliaten geschieht, etwas langsamere Wimperschläge von grösserer Amplitude von einem Ende aus über die Wimperreihe als Wellen hinliefen*). In diesem Fall konnte deutlich beobachtet werden, dass solche Wimperwellen nicht über die Schnittstelle hinwegliefen, sondern sich auf die eine Seite beschränkten und auf der andern

*) Zur Darstellung solcher schnellen Bewegungen eignet sich vorzüglich das als Kinderspielzeug bekannte sog. Lebensrad. Wenn man möglichst viele auf einander folgende Phasen einer Bewegung hinter einander auf einen Papierstreifen von der entsprechenden Form aufzeichnet, kann man durch schnelleres oder langsameres Drehen des Rades sehr gut die Bewegung in verschiedener Geschwindigkeit synthetisch darstellen.

Seite nicht wieder zum Vorschein kamen (Fig. 26). Derartige Wellen von stärkeren Wimperschlägen traten z. B. auch auf, wenn ein leichter Fremdkörper an die Wimpern herangestrudelt

Fig. 26.



Peristomwimperreihe. a. Wimpern in rhythmisch geordneter Bewegung. b. Wimpern nach Einschneidung auf beiden Seiten der Schnittstelle asynchron schlagend.

wurde. Auch dann setzten sich die Wellen nicht auf die andere Hälfte fort. Bisweilen beobachtete ich auch, dass die Mittellage, um welche die Wimpern schwangen, in der einen Hälfte der Wimperreihe vorübergehend eine andere war, als auf der anderen Seite der Schnittstelle (Fig. 25). Schliesslich sei noch eine Beobachtung angeführt, die ich an einem losgetrennten Stück der Peristomwimperreihe von Stentor coeruleus machte. Dasselbe war in der Mitte eingeschnitten und beide Theile hingen noch durch eine dünne Protoplasmabrücke zusammen. Nachdem anfangs die Frequenz und die Amplitude auf beiden Seiten gleich gewesen war, wurde allmählig auf der einen Seite die Frequenz bedeutend geringer, dagegen die Amplitude grösser, während auf der andern Seite beide normal blieben. Aus diesen Versuchen und Beobachtungen muss man nothwendiger Weise auf das Vorhandensein eines Wimperbasenmechanismus schliessen, dessen Art natürlich unbekannt bleibt, der möglicher Weise nur dadurch wirkt, dass er eine bedeutend höhere Reizleitung ermöglicht als das übrige Körperprotoplasma. Uebrigens wird nach den Ergeb-

nissen dieser Versuche die Angabe GRUBERS[116]) etwas zu modificiren sein, dass bei der Fortpflanzung der Ciliaten durch Theilung beide Theilstücke „vollkommen übereinstimmende Bewegungen machen, solange sie noch durch eine Protoplasmabrücke verbunden sind". Dies ist nur in gewissen Fällen richtig, besonders wenn innere Impulse oder äussere Reize die Bewegungen herbeiführen, die stark genug sind, um durch die Leitung des Körperprotoplasmas auf weitere Strecken fortgepflanzt zu werden, während ich in den oben angeführten Fällen das Gegentheil beobachtet habe. Man muss sich vorstellen, dass, wenn starke Bewegungs-Impulse in einzelnen Theilen des Körpers erzeugt werden, diese nach den Gesetzen der Reizfortpflanzung (Seite 84) sich im ganzen Körper verbreiten können, so dass annäherndes Gleichgewicht der kinetischen Energie im Protoplasmakörper besteht, während schwache Impulse, die hier und dort im Körper auftreten, nicht ausreichen, um den ganzen Körper zu beherrschen, woraus eine ungleichmässige Vertheilung der Energie im Körper resultirt. So bemerkte ich z. B. bei der Theilung von Euplotes charon, dass das vordere Theilstück seine Peristomwimpern ganz still hielt, während das hintere dieselben regelmässig mit kurzen Unterbrechungen schlagen liess. Auch machte häufig das eine Theilstück eine Sprungbewegung, während das andere seine Sprungwimpern still hielt. Und einen ähnlichen Fall sah ich an einer in Theilung begriffenen Pleuronema chrysalis, bei der die Wimpern von Zeit zu Zeit im vorderen Theilstück schlugen, ohne dass die Wimpern des hinteren Theilstücks sich bewegten. Ebenso pulsirten auch die Vacuolen beider Theilstücke in ungleichem Rhythmus.

Nach allen diesen Erfahrungen wird man sich von den Bewegungsvorgängen des Protistenkörpers ungefähr folgendes Bild machen. Man kann den ganzen Protistenkörper einer grossen Volksversammlung vergleichen, in der jede Person einem Protoplasmatheilchen entspricht. Die Beschlüsse der Versammlung sind die Gesammtbewegungen des ganzen Körpers. Beide sind nichts Einheitliches, sondern die einen der Gesammtausdruck der Meinungen aller einzelnen Personen, die anderen dem entsprechend das Resultat aller Einzelbewegungen der kleinsten Theilchen. Ebenso wie in der Versammlung aber jede Person

---

116) A. Gruber: „Beiträge zur Kenntniss der Physiologie und Biologie der Protozoen". In Ber. d. naturforschenden Gesellschaft z. Freiburg i/B. 1886.

selhstständiges Individuum mit eigener Meinung ist, so besitzt auch jedes Protoplasmatheilchen seine Selbstständigkeit. Trotzdem stehen die Theile bis zu einem gewissen Grade unter einander in Verhindung. Wie die einzelnen Glieder der Volksversammlung sich in ihren Meinungen gegenseitig heeinflussen, von diesen eine Meinung annehmen, jenen eine Meinung ühertragen, so hesteht auch unter den Protoplasmatheilchen ein gewisser Verband durch mechanische Vereinigung und Reizleitungsfähigkeit, wodurch es möglich wird, dass sie Bewegungs-Impulse von anderen empfangen und auf andere ühertragen u. s. f. Jeder Impuls, der von einem Protoplasmatheilchen a auf das nächste h durch Leitung ühertragen wird, wirkt für h als Reiz, der in b die gleichen Veränderungen erzeugt wie in a. Durch diesen Vergleich wird deutlich, dass auch die einheitlichen Leistungen des Protistenkörpers ebenso wenig Ausdruck eines einheitlichen Vorgangs sind, wie die Gesammtmeinung einer Volksversammlung. Beide dürfen nur als Summe hetrachtet werden.

Die fundamentale Thatsache, dass die einheitliche Bewegung des Protistenkörpers eine Summe von Bewegungen der kleinsten Protoplasmatheilchen repräsentirt, und dass die Bewegung jedes Protoplasmatheilchens Ausdruck der in ihm selhst stattfindenden Processe ist, hildet nun den Ausgangspunkt für einige Consequenzen, die für den vorliegenden Zweck von hervorragender Bedeutung sind.

Bestätigung der ersten Ergebnisse.

Zunächst ergiebt sich daraus eine neue Bestätigung der Richtigkeit der im Vorigen gewonnenen Auffassung von der Entwicklungsstufe der psychischen Vorgänge im Protistenreich im Vergleich zu denen heim Menschen. Das Ergehniss der Theilungsversuche beweist aufs neue, dass die psychischen Vorgänge hei den Protisten nur unhewusste sein können. Würden die Bewegungen der Protisten — und zu den Theilungsversuchen sind gerade Protisten mit besonders charakteristischen und scheinbar zweckhewussten Bewegungen ausgewählt worden — aus solchen psychischen Vorgängen herzuleiten sein, denen die Vorstellung des individuellen Ich, also ein einheitliches Bewusstsein, zu Grunde liegt, so müssten die Theilstücke sich nach der Lostrennung vom Individuum vollkommen ruhig verhalten, ebenso, wie etwa der vom Körper eines lebenden Frosches losgetrennte Sartorius oder Gastroknemius ungereizt keine selhstständige

Bewegung mehr zu machen im Stande ist. Bei denjenigen Protisten, welche Individuen zweiter Ordnung repräsentiren, d. h. welche Colonien oder Syncytien von Zellen sind, wie Pelomyxa, Actinosphaerium etc., würde die spontane Bewegung einzelner Theilstücke, wenn sie noch Kerne enthalten, nicht auffallen, weil man dann in den Theilstücken immer noch selbstständige Individuen vor sich hat, obwohl die Fortdauer der Bewegungen in ihrer normalen Form auch hier schon unter der Voraussetzung eines ursächlichen Bewusstseinsmoments der Erklärung Schwierigkeiten bieten würde, da die Individualität des ganzen Protists durch die Operation in tief eingreifender Weise verändert wird. Für Theilstücke aber, die vollständig kernlos sind, ist das Fortbestehen der charakteristischen Bewegungen jedes Theils in der normalen Weise ein absoluter Beweis dafür, dass diese Bewegungen ohne Bewusstsein des Individuums zu Stande kommen, denn die Individualität ist durch die Zertheilung völlig zerstört worden. Aus diesem Grunde ist bei den Theilungsversuchen ein so grosses Gewicht darauf gelegt worden, kernlose Theilstücke zu erhalten. Der Mangel an Centralisation der psychischen Vorgänge, die fehlende Differenzirung eines Organoïds als Sitz der psychischen Vorgänge, die psychische Selbstständigkeit jedes kleinen Protoplasmatheilchens ist daher ein Argument, das allein schon die Annahme von Bewusstseinserscheinungen im Protistenreich ohne weiteres zu widerlegen im Stande ist.

Wenn die Ergebnisse der Theilungsversuche einerseits einen neuen Beweis dafür liefern, dass im Protistenreich nur unbewusste psychische Vorgänge auftreten, so zeigen sie ferner, dass in jedem kleinen Stück Protoplasma, das man vom Protistenkörper abtrennt, sich solche unbewusste psychische Processe abspielen. Wir hatten gesehen, dass die charakteristischen Bewegungen des Protistenkörpers eine Summe von vielen Einzelbewegungen vorstellen, und müssen schliessen, dass jedes kleinste Protoplasmatheilchen seine charakteristischen Bewegungen ausführt, wenn es auch nicht möglich ist, diese Elementartheilchen des Protoplasmas durch Theilung zu isoliren und ihre Bewegung überhaupt wahrzunehmen. Gesetzt übrigens, es wäre möglich, so würde dies vermuthlich ganz nutzlos sein, da es höchst unwahrscheinlich ist, dass sich die Elementartheilchen isolirt am Leben er-

halten lassen würden. Indessen ist die ganze Bemühung auch für den vorliegenden Fall unnöthig, denn nach dem Ergebniss der Theilungsversuche ist der Schluss unumgänglich, dass die Elementartheilchen des Protistenkörpers alle selbstständig ihre charakteristische Bewegung ausführen, und zwar werden die Bewegungen der einzelnen Elementartheilchen bei den wenig oder gar nicht differenzirten Protistenformen, wie den niedersten Rhizopoden, wenig oder gar nicht unter einander verschieden sein, während bei den Ciliaten viele Theilchen sehr von einander verschiedene Bewegungen ausführen werden. Jedes Protoplasma-Elementartheilchen hat also seine eigene, selbstständige Psyche.

Dieser Satz ist der Ausgangspunkt für den Versuch einer Lösung des zweiten Hauptproblems, nämlich der Frage nach dem Wesen der psychischen Vorgänge, denn nachdem die Ursache der Bewegungen in die psychischen Vorgänge jedes Elementartheilchens verlegt worden ist, muss nunmehr das Wesen dieser Ursache aufgedeckt werden. Es muss untersucht werden, ob und welche bekannte Factoren das Zustandekommen der Bewegungen bewirken. Diese Factoren müssen dann identisch mit den psychischen Ursachen sein. Es ist also zu diesem Zweck erforderlich, einen Einblick in die Vorgänge in jedem Elementartheilchen des Protoplasmas zu gewinnen, und dazu muss scheinbar etwas weiter ausgeholt werden.

Die Stoffwechselvorgänge im Elementarorganismus.

Die Thatsache, dass von allen Elementarorganismen gewisse chemische Elemente und Verbindungen als Nahrungsstoffe von aussen in den Körper aufgenommen, andere Stoffe als Excrete und Secrete ausgeschieden werden, beweist, dass innerhalb des Elementarorganismus chemische Processe stattfinden, die je nach der Art des Organismus verschieden sein können.

Diejenige Frage nun, welche hier von Bedeutung ist, ist die nach dem Sitz der Stoffwechselvorgänge im Körper des Elementarorganismus.

Am einfachsten werden die Verhältnisse in solchen Elementarorganismen liegen, die keinerlei Differenzirungen aufweisen, bei denen jedes kleinste Stück Protoplasma gleich dem andern ist, also bei kernlosen Cytoden, wie sie die Moneren repräsentiren.

Seit der Entdeckung der Moneren durch Haeckel ist zwar bis jetzt die Existenz solcher in allen Theilen des Protoplasmas

im wesentlichen gleichartigen Organismen von manchen Forschern in Zweifel gezogen worden, und dies wohl lediglich deshalb, weil sich einige der ursprünglichen Moneren HAECKELS bei der Untersuchung mit den neueren Tinctionsmethoden als kernhaltig erwiesen haben; mir scheint jedoch hierin durchaus keine Veranlassung dazu zu liegen, dieses Ergebniss zu verallgemeinern und damit die Existenz der Moneren überhaupt zu leugnen, auf die im Gegentheil eine ganze Reihe von Umständen hinweist. Zunächst wird man schon durch die blosse Ueberlegung über die Entstehung der ersten Organismen zu der Annahme gedrängt, dass die zelligen Organismen phylogenetisch von solchen abstammen müssen, die bedeutend einfacher gebaut und in keiner Weise differenzirt waren. Diese Annahme findet denn auch eine höchst bedeutungsvolle Stütze in der Thatsache, dass noch jetzt im Entwickelungskreis vieler kernhaltiger Protisten (Myxomyceten, Gregarinen, Ciliaten etc.) Stadien existiren, in welchen keinerlei morphologische Differenzirung der Kernsubstanz vorhanden ist, in denen der ganze Körper aus einer in allen Theilen gleichartigen Protoplasmamasse besteht. So hat erst neuerdings RHUMBLER[117]) durch sehr sorgfältige Untersuchungen nachgewiesen, dass sich Colpoda cucullus und andere Ciliaten aus ganz homogenen Sporen entwickeln, die nicht die geringste Spur einer Differenzirung des Kerns zeigen, dass sich vielmehr der oder die Kerne erst im Lauf der Entwicklung aus dem Protoplasma differenziren. Ferner führt aber auch die Vergleichung der niedersten Rhizopodenformen zur Annahme der Existenz von Moneren, denn man findet hier sehr verschiedene Stufen der Differenzirung von Kernsubstanz im Protoplasmakörper. So trifft man bei manchen Formen einen einzigen grossen, deutlich und scharf differenzirten Kern, bei anderen mehrere kleine Kerne und bei noch anderen nur äusserst kleine, in sehr grosser Zahl gleichmässig im Protoplasma vertheilte Körnchen von Kernsubstanz, wie sie z. B. ZOPF an Vampyrella und GRUBER[118]) an seiner Protomyxa pallida und Schultzia diffluens gefunden hat, wo man bisweilen zweifelhaft sein kann, ob die sich färbenden Elemente wirklich Kernsubstanz sind, da bekanntlich auch andere Sub-

[117]) Rhumbler: „Die verschiedenen Cystenbildungen und die Entwicklungsgeschichte der holotrichen Infusoriengattung Colpoda". In Zeit. f. wiss. Zool. 1888.

[118]) A. Gruber: „Ueber einige Rhizopoden aus dem Genueser Hafen". In Ber. der naturforschenden Ges. z. Freiburg i/B. Bd. IV 1888.

stanzen des Zellkörpers häufig Farbstoffe aufnehmen. Schon die letzteren Formen zeigen eine so feine Vertheilung der Kernsubstanz, dass von ihnen bis zu den echten Moneren nur noch ein kleiner Schritt ist. Denkt man sich daher Formen, die noch eine kleine Stufe niedriger stehen als diese, so kommt man nothgedrungen zu echten Moneren. Dass es in der That Organismen giebt, bei denen eine Scheidung des Protoplasmas in Kern- und Körperprotoplasma noch nicht existirt, beweisen die Bacterien, wenn man dieselben auch wegen der morphologischen Differenzirungen nach anderer Richtung nicht zu den echten Moneren zählen kann. Es liegt also in Hinsicht auf alle diese Gesichtspunkte für mich kein Grund vor, die Existenz der Moneren zu bezweifeln.

Für den Monerenkörper wird man sich nun, wie gesagt, die Stoffwechselvorgänge verhältnissmässig einfach vorzustellen haben. denn da jedes kleine Stückchen des Monerenkörpers dem anderen gleich ist, so hat man keine Berechtigung, den Sitz der Stoffwechselvorgänge in einen bestimmten Theil des Körpers zu verlegen, sondern man muss annehmen, dass jedes Elementartheilchen sich in gleicher Weise am Stoffwechsel betheiligt. In dem einen Elementartheilchen werden sich dieselben Stoffwechselprocesse abspielen wie in jedem anderen, und jedes wird sich in allen Beziehungen so verhalten wie der ganze Körper. Der Monerenkörper besitzt also gewissermassen republikanische Verfassung seiner Elementartheilchen. Leider hatte ich bisher noch keine Gelegenheit, diese Annahme experimentell zu beweisen, denn diesbezügliche Versuche an Lieberkühnia, die hauptsächlich zum Nachweis der Verdauung von Nahrungsorganismen durch einzelne abgeschnittene Pseudopodienmassen angestellt wurden, sind nicht zu einem sicheren Abschluss gekommen, da das Material während der Versuche ausging.

Nicht so einfach wie im Monerenkörper liegen die Verhältnisse bei allen denjenigen Elementarorganismen, welche einen morphologisch differenzirten Kern besitzen. Hier kann man nicht von vornherein sagen, wo der Sitz der Stoffwechselvorgänge zu suchen ist, denn durch die Differenzirung des Körpers in Kern- und Körperprotoplasma sind drei verschiedene Möglichkeiten dafür gegeben. Einmal ist es denkbar, dass die Stoffwechselprocesse nur im Körperprotoplasma ablaufen, zweitens ist es möglich, dass sie nur im Kernplasma ihren Sitz haben, und endlich können sowohl Körper- wie Kernprotoplasma daran betheiligt sein.

Die erste Annahme hat entschieden die geringste Wahrscheinlichkeit für sich, denn man wüsste alsdann nicht, welche Function dem Kern eigentlich zukäme. Wenn er sich ganz passiv verhielte, ohne sich am Zellleben zu betheiligen, dann wäre seine Differenzirung überflüssig. Uebrigens beweisen einfache Versuche auch sofort, dass diese Annahme falsch ist, denn kernlose Theilstücke von Protisten wachsen nicht, pflanzen sich nicht fort, und gehen früher oder später stets zu Grunde, was alles nicht der Fall sein könnte, wenn der Stoffwechsel trotz der Abwesenheit des Kerns in normaler Weise weiter von Statten ginge.

Die letzteren Thatsachen scheinen im Gegentheil für die zweite Annahme zu sprechen, dass nämlich der Kern Sitz der Stoffwechselprocesse ist. NUSSBAUM [119]) und GRUBER [120]) haben gezeigt, dass Theilstücke von ciliaten Infusorien nur dann sich zu ganzen Individuen regeneriren und wachsen, wenn sie den Kern oder wenigstens einen Theil der Kernsubstanz enthalten. und ebenso hat KLEBS [120]) bei Pflanzenzellen gefunden, dass nur dann ein Wachsthum stattfindet, wenn dieselben kernhaltig sind. Damit ist also bewiesen, dass Körperprotoplasma nur unter dem Einfluss des Kerns gebildet wird. Ausser diesen Thatsachen giebt es ferner noch eine Reihe anderer, die ebenfalls auf experimentellem Wege gefunden wurden und welche alle darauf hinzudeuten scheinen, dass der Kern Sitz des Stoffwechsels ist. So wurde von SCHMITZ [121]) und von KLEBS [122]) beobachtet, dass auch die Bildung der Cellulosemembran der Pflanzen- und Algenzellen (besonders von Valonia, Zygnema, Spirogyra) nur bei Anwesenheit des Kernes erfolgt, dagegen ausbleibt an kernlosen Theilstücken. Ferner geht aus den Beobachtungen von KORSCHELT [122]) an den chitinbildenden Zellen der Eistrahlen von Ranatra und Nepa hervor, dass die Chitinbildung in diesen Fällen vom Kern bedingt ist, und endlich

[119]) Nussbaum: „Ueber spontane und künstliche Theilung von Infusorien". In Verhandlung des naturhistor. Vereins d. preuss. Rheinlande. Bonn 1884.

[120]) A. Gruber: „Beiträge zur Kenntniss der Physiologie und Biologie der Protozoën". In Ber. d. naturforschenden Ges. z. Freiburg i/B. 1886.

[121]) G. Klebs: „Ueber den Einfluss des Kerns in der Zelle". In Biolog. Centralbl. 1887 Bd. VII.

[122]) Schmitz: „Beobachtungen über die vielkernigen Zellen der Siphonocladiaceen". Festschrift d. naturf. Ges. zu Halle 1879.

[123]) E. Korschelt: „Die Bedeutung des Kerns für die thierische Zelle". In Sitzgsber. d. Ges. naturforsch. Freunde z. Berlin 1887 Nr. 7.

habe ich selbst [124]) durch Versuche an Polystomella crispa die Beihülfe des Kerns für die Bildung der Kalkschale der Foraminiferen als nothwendig nachgewiesen. Dass also der Kern Sitz von Stoffwechselvorgängen ist, steht hiernach ausser allem Zweifel, indessen fragt es sich doch, ob er alleiniger Sitz aller Stoffwechselvorgänge ist, und das wird durch andere Erfahrungen widerlegt.

Höchst wichtig ist in dieser Beziehung die Beobachtung von KLEBS (l. c.), dass bei Spirogyra das Körperprotoplasma auch ohne Anwesenheit des Kerns im Stande ist, Stärke zu verarbeiten und neue Stärke zu produciren, falls nur ein Stückchen des Chlorophyllstreifens in dem Theilstück enthalten ist. Auch kernlose Theilstücke der Zellen von Funaria hygrometrica vermögen noch Stärke aufzulösen. Schliesslich gelang es mir selbst, nachzuweisen, dass kernlose Theilstücke von Infusorien noch Sauerstoff verbrauchen, dass also auch ohne Anwesenheit des Kerns noch Oxydationsprocesse im Körperprotoplasma stattfinden, da bei Sauerstoffabschluss die Theilstücke nach kurzer Zeit körnig zerfallen, während sie bei genügender Anwesenheit von Sauerstoff noch lange Zeit in normaler Weise am Leben bleiben. Man muss dabei zugleich vermuthen, dass kernlose Theilstücke auch noch Kohlensäure produciren und ausscheiden.

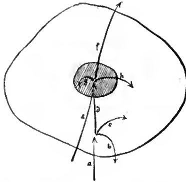
Nach allen diesen Thatsachen ist nicht mehr daran zu zweifeln, dass sowohl Kernprotoplasma als Körperprotoplasma an den Stoffwechselvorgängen betheiligt sind. Das Körperprotoplasma ist also nicht eine nur vom Kern producirte Masse, die nach ihrer Entstehung unverändert bleibt, d. h. keine molekularen Vorgänge mehr zeigt, sondern ebenso wie im Kernplasma gehen auch in jedem Körperprotoplasmatheilchen chemische Umsetzungen, analytische und synthetische Processe ununterbrochen vor. So müssen also Stoffwechselbeziehungen sowohl zwischen der Aussenwelt und dem Körperprotoplasma, wie zwischen Kern- und Körperprotoplasma, als auch zwischen Kernprotoplasma und Aussenwelt existiren.

Es ist vortheilhaft für die Entwicklung einer richtigen Vorstellung von den complicirten Stoffwechselvorgängen in der Zelle, wenn man sich alle Beziehungen, die dabei möglich sind, einmal

[124]) M. Verworn: „Biologische Protisten-Studien". In Zeitschr. f. wiss. Zool. 1888.

schematisch vorführt. Zu diesem Zweck diene das nachstehende Schema (Fig. 27), das eine Zelle vorstellen soll, in der die einzelnen Pfeile die verschiedenen Gruppen von Stoffen des Stoffwechselkreislaufs in Hinsicht auf ihren Weg und ihre Umsetzungen andeuten.

Fig. 27.



Schema des Stoffwechsels in der Zelle.

a stellt die Gesammtheit aller der Stoffe vor, welche von aussen in das Körperprotoplasma aufgenommen werden, um durch dieses chemische Umsetzungen zu erfahren.

b sind diejenigen aus der Umsetzung von a hervorgegangenen Stoffe, welche unbrauchbar sind und in Folge dessen wieder ausgeschieden werden.

c sind die Stoffe, die aus der Umsetzung von a durch das Körperprotoplasma entstanden sind und in diesem verbleiben, um hier verwerthet zu werden.

d repräsentirt diejenigen durch Umsetzung von a entstandenen Stoffe, welche an das Kernprotoplasma abgegeben werden.

e bedeutet die Stoffe, welche von aussen, ohne durch das Körperprotoplasma verändert worden zu sein, in das Kernprotoplasma aufgenommen werden,

d und e also die dem Kern von aussen zugeführten Stoffe, welche hier Umsetzungen erleiden.

f sind die aus der Umsetzung von d und e hervorgegangenen Stoffe, welche vom Kern durch das Körperprotoplasma hindurch nach aussen ausgeschieden werden.

g stellt die aus der Umsetzung von d und e entstandenen Stoffe vor, welche im Kern bleiben und hier Verwerthung finden.

h schliesslich umfasst diejenigen aus der Umsetzung von d und e hervorgegangenen Stoffe, die an das Körperprotoplasma abgegeben werden, um hier Verwerthung zu finden.

Der vorstehende Ueberblick ist natürlich mit Zugrundelegung der einfachsten Verhältnisse entworfen worden, und abgesehen davon, dass jeder Pfeil eine grössere Summe von Stoffen repräsentirt, muss man sich ferner vorstellen, dass in vielen Fällen die Vorgänge noch bedeutend complicirter werden können dadurch, dass z. B. auch die aus Umsetzungen hervorgegangenen Stoffe, welche im Körper bleiben (also c, g, h), selbst wieder erneute Umsetzungen erfahren, aus denen wieder andere Stoffe hervorgehen, und so fort. So erhält man eine ungefähre Anschauung von der Complication, welche der Stoffwechsel des Elementarorganismus durch Differenzirung des Kerns erfährt.

Nun werden natürlich nicht alle diese als möglich hingestellten Vorgänge in jeder Zelle realisirt sein, vielmehr werden, da jede Zellenart ihren eigenen charakteristischen Stoffwechsel hat, in manchen Zellen manche dieser Vorgänge fehlen, und namentlich werden bei Gewebszellen, die an eine einzige Function angepasst sind, ganze Reihen derselben wegfallen; indessen haben die oben angeführten Versuche und Beobachtungen der letzten Jahre über den Einfluss des Kerns doch schon die Existenz eines Theils dieser Vorgänge sicher nachgewiesen. Weitere experimentelle Untersuchungen nach dieser Richtung, die von der grössten Bedeutung sind, werden später die Einsicht in die Stoffwechselvorgänge noch bedeutend erweitern. Augenblicklich muss man sich noch hüten, die Ergebnisse der wenigen bisherigen Resultate zu verallgemeinern, da ja die Stoffwechselverhältnisse in jeder Zellenart andere sind. So wird man z. B. aus der Thatsache, dass die Secretion vieler Stoffe (Cellulose, Chitin, kohlensaurer Kalk etc.) unter dem Einfluss des Kerns steht, noch nicht den Schluss ziehen dürfen, dass überhaupt alle Secretion eine Fnnction des Kerns ist, dass etwa der Kern ein secretorisches Centrum vorstellt. Es lässt sich sehr wohl denken, dass auch ohne Einfluss des Kerns bestimmte Stoffe ganz allein vom Körperprotoplasma secernirt werden. Doch geht wenigstens so viel aus den bisherigen Beobachtungen hervor, dass der Kern als noth-

wendiges Glied in dic Kette der Stoffwechselvorgänge eingeschaltet ist, indem er dem Körperprotoplasma für dessen Functionen Stoffe liefert, ohne welche dieses nicht existiren kann, und vom Körperprotoplasma andrerseits Stoffe empfängt, ohne die er selbst zu Grunde geht. Man kann daher vom Kern ebenso wenig als vom Körperprotoplasma als einem Centrum für die Stoffwechselvorgänge sprechen, letztere haben vielmehr in beiden Theilen ihren Sitz.

Diese wenigen Thatsachen genügen schon, um zu zeigen, dass in jedem Protoplasmatheilchen ein ewiges Entstehen und Vergehen von verschiedenen chemischen Verbindungen herrscht. Aber dadurch wird auch zugleich die Vorstellung von dem, was Protoplasma ist, wesentlich erschwert, denn nun enthält dieser Begriff scheinbar nichts Festes, nichts Beständiges mehr.

Um daher ein klares Bild von einem kleinsten Protoplasmatheilchen zu gewinnen, das noch alle Eigenschaften des Stückes Protoplasma besitzt, von dem es entnommen ist, wird man sich am besten den Znstand desselben in einem einzelnen Zeitmoment vorführen. Ohne hier die Frage entscheiden zu wollen, welcher von den beiden entgegenstehenden Ansichten über die Zusammensetzung des Protoplasmas mehr Berechtigung zukommt, derjenigen, dass für jedes Protoplasma nur gewisse chemische Verbindungen wesentlich sind, andere nicht nothwendig zum Wesen derselben gehören, oder derjenigen, dass die Gesammtheit aller Stoffe, welche in dem Elementarorganismus vorhanden sind, den Begriff Protoplasma ausmacht, müssen wir doch das eine als sicher festhalten, dass zu dem Begriff Protoplasma eine grössere Zahl chemischer Verbindungen gehört. Danach ist also das Protoplasma-Elementartheilchen in jedem einzelnen Moment ein Complex von sehr verschiedenen Molekülen, die vermuthlich unter sich wieder Verbände höherer Ordnung bilden, wie sie Naegeli als „Micelle“ bezeichnet hat.

Der Verband der Moleküle, Micelle und Elementartheilchen kann nun ein sehr verschieden fester sein. Am lockersten ist er jedenfalls bei den formlosen Rhizopoden, wo die einzelnen Theilchen alle gegen einander verschiebbar sind wie in einer dicken Flüssigkeit (etwa einer Gummi arabicum-Lösung). Hier können sich zwischen die einzelnen Theilchen sogar grössere Ballen von aufgenommener Nahrung, umgeformter Nahrung, Secreten etc. ansammeln. Auch im Endoplasma der meisten Infusorien ist der

Verband ein so lockerer. Dagegen kommen bei höheren Protisten von wenig beweglichen oder starren Körperformen auch festere Verbände vor, in denen die Lage jedes einzelnen Theilchens ähnlich wie in einem Krystall durch das andere fest bestimmt ist. So in den äusseren Körperschichten der Flagellaten, Ciliaten und Acineten. Deshalb trifft man auch hier nie grössere Massen von geformten Nahrungstheilen etc. an. Jedes Molekül, jedes Micell etc. bindet an sich nur wieder ein ganz bestimmtes Molekül, Micell etc., und zwar nach einer ganz bestimmten Richtung.

Man findet also, je mehr ein Elementarorganismus differenzirt ist, um so verschiedener auch die molekulare Zusammensetzung in den Elementartheilchen der differenten Körperpartieen. Während z. B. bei einem Moner alle Elementartheilchen des Protoplasmakörpers gleichen molekularen Bau haben, ist schon bei den niedersten Rhizopoden durch die Differenzirung des Kerns eine Verschiedenheit der Elementartheilchen des letzteren von denen des Körperprotoplasmas bedingt, und bei Flagellaten mit Chlorophyllkörper sowie bei Ciliaten mit hoch differenzirten, formbeständigen äusseren Körperanhängen werden die Verschiedenheiten in den einzelnen Theilen des Körpers noch viel zahlreicher sein.

So ist die Beschaffenheit der Protoplasma-Elementartheilchen in einem gegebenen Moment. Im nächstfolgenden Moment ist die Beschaffenheit aber schon wieder eine andere, indem einzelne Moleküle oder Micelle sich gespalten und in ihren einzelnen Componenten Material zur Bildung anderer gegeben haben. Wieder einen Moment später haben sich die ersteren selbst wieder durch Spaltung anderer Moleküle neu gebildet, und so fort. Das charakteristische Moment für das lebende Elementartheilchen ist, dass immer die gleichen Molekular- und Micellar-Anordnungen wiederkehren, dass immer wieder dieselben chemischen Processe innerhalb des Elementartheilchens ablaufen. Letzteres geht ohne weiteres aus dem für jedes Protoplasma charakteristischen Stoffwechsel hervor, der bei jeder Form jederzeit derselbe ist.

Auf diese Weise gewinnt man eine Vorstellung von den Processen, die in jedem Elementartheilchen des Protoplasmas statthaben, und diese reichen nicht nur vollständig aus, um alle Lebenserscheinungen ungezwungen zu erklären, sondern der Ursprung der letzteren ergiebt sich sogar als eine nothwendige Consequenz aus ihnen.

Wenn die Zufuhr von Nahrungsstoffen von aussen eine Grösse besitzt, welche die Neubildung von chemischen Verbindungen gerade in dem Maasse bewirkt, als dieselben durch Umsetzungen zerstört werden, so wird dynamisches Gleichgewicht im Körper herrschen. Ist die Grösse der Nahrungszufuhr geringer, so tritt allmählig der Tod ein, ist sie aber grösser, so muss Wachsthum die nothwendige Folge sein, indem schneller neugebildete Moleküle entstehen als zersetzt werden. Es legt sich Molekül an Molekül, Micell an Micell in bestimmter Weise an, was besonders, wie PFLÜGER[125]) bereits betont hat, in der Neigung der Kohlenstoffverbindungen zur Polymerisirung seinen Grund findet.

In dem bestimmten Lageverhältniss der Moleküle zu einander und dem Wachsthum der Moleküle durch kettenartige Verzweigung liegt ferner der Grund von Regenerationen, die man an starren Formen bemerkt. Wird einer Stylonycbia ein Theil ihres Körpers abgeschnitten, so wird, wenn die Synthese von Molekülen, Micellen und damit von Protoplasma-Elementartheilchen lebhafter vor sich geht als ihre Umsetzung, hierin das Material für die Neubildung gegeben sein, und da die Lage eines jeden neugebildeten Theilchens im Moment seiner Entstehung schon durch die benachbarten bedingt ist, so muss durch immer weitere Apposition bestimmter Elemente an die Wundränder der neugebildete Körpertheil auch wieder genau dieselbe Gestalt bekommen als der abgeschnittene.

Wachsthum und Regeneration sind also dieselben Processe, deren Identität z. B. am formlosen Rhizopodenkörper noch ohne weiteres einleuchtet.

Ebenso ist der Process der Fortpflanzung nichts als eine Art des Wachsthums, und aus der einfachen Form, wie sie in dem Theilungsprocess der Protisten noch vorliegt, erklärt sich die Vererbung bei diesen Organismen von selbst. Ebenso ergeben sich auch alle übrigen Lebenserscheinungen als Consequenzen aus den Stoffwechselvorgängen des Protoplasmas.

Was aber für den vorliegenden Zweck die wichtigste Folge der Stoffwechselvorgänge im Protistenkörper ist, das ist die Bewegung, die sie nothwendiger Weise in irgend einer Form erzeugen müssen. Die molekularen Processe im Protoplasma-Elementartheilchen müssen, da sie Bewegungen sind, auch als Be-

[125]) E. Pflüger: „Ueber die physiologische Verbrennung in den lebenden Organismen". In Pflügers Archiv 1875 Bd. 10.

wegungen der Elementartheilchen zum Ausdruck kommen, sei es dass sie direct als kinetische Energie in die Erscheinung treten, sei es dass sie sich als potentielle Energie im Körper aufhäufen, die gelegentlich durch einen Reiz in kinetische Energie umgesetzt wird. Die molekularen Umlagerungen repräsentiren eine Arbeit, die nicht verloren gehen kann. So ist in den molekularen Vorgängen selbst der Grund für die Bewegung der Elementartheilchen des Protoplasmas gegeben; die Bewegung jedes Elementartheilcheus ist nnr der Ausdruck der in ihm statthabenden molekularen Veränderungen. Daher ist eine Annahme immaterieller Vorgänge irgend welcher Art, welche die Bewegungen der Protisten erzeugen und etwa intermolekular spielen sollten, mit alleu den Widersprüchen, zu denen sie führt, vollständig überflüssig und deshalb ohne weiteres abzuweisen.

Es kann natürlich nicht die Aufgabe dieser Untersuchnngen sein, den Mechanismus der Bewegungen noch ausführlicher zu behandeln, besonders da die allgemeiuen chemischen Ursachen schon von PFLÜGER (l. c.) in höchst geistreicher Weise aufgedeckt und neuerdings die allgemeinen physikalischen Ursachen von BERTHOLD[126]) nicht minder scharfsinnig nachgewiesen worden sind. Noch weniger aber kann es hier Absicht sein, die bei den einzelnen Bewegungserscheinungen sich abspielenden speciellen Vorgänge aufsuchen zu wollen, eine Aufgabe, deren Lösung bei den jetzigen Hülfsmitteln der Forschung unserer Machtsphäre noch ziemlich weit entrückt ist. Für unseren Zweck genügt es, die Art der Ursachen für die Bewegungen der kleinsten Protoplasmatheile nachgewiesen zu haben.

Molekular-Psychologie.

Knüpfen wir hier an den früheren Gedankengang wieder an. Es war gezeigt worden, dass die primitiven psychischen Vorgänge, als deren Ausdruck die Bewegungen der Protisten aufgefasst worden waren, noch in den Elementartheilchen des Protoplasmas vorhanden sind. Im Vorigen ist nun eine Vorstellung gewonnen worden von der Art der Vorgänge, die im Protoplasma-Elementartheilchen spielen, und die ihren Ausdruck in den Bewegnngen desselben finden. Hiernach bleiben also nur zwei Vorstellungsweisen als allein möglich übrig: entweder sind jene primitiven psychischen Processe im Protistenreich, welche den automatischen, impulsiven

[126]) Berthold: „Studien über Protoplasma-Mechanik". Leipzig 1886.

und Reflexbewegungen zu Grunde liegen, identisch mit den molekularen Vorgängen im Protoplasma, oder jene Bewegungen sind gar nicht Aeusserungen psychischer Vorgänge und es ist bei den Protisten überhaupt noch keine Psyche vorhanden, dieselbe ist erst in der Entwicklungsreihe der Thiere entstanden.

Es wird nicht an Naturforschern fehlen, welche die letztere Vorstellung für die richtigere halten und gerade so wie die Entstehung irgend eines Organsystems, das erst im Laufe der thierischen Entwicklung auftritt, wie beispielsweise das Nervensystem, sich auch die Psyche entstanden denken werden. In der That ist ja auch schon früher[127]) die Idee ausgesprochen worden, dass von einer Psyche nur da geredet werden darf, wo ein Nervensystem entwickelt ist.

Indessen ist unter der Voraussetzung, dass man nicht mit einer ganz rohen supranaturalistischen Anschauung sich die Psyche an einem bestimmten Punkte der Thierreihe von aussen in den Thierkörper hineingefahren denkt, — eine Ansicht, die natürlich hier nicht weiter discutirt werden kann — die Alternative der beiden genannten Vorstellungen wie eine genauere Ueberlegung zeigt, nur eine scheinbare, und läuft auf eine einfache Differenz in der Bezeichnungsweise hinaus.

Die Vorstellung, dass das Nervensystem oder irgend ein anderes Organsystem an einer Thierform unvermittelt plötzlich entstanden sei, ist eine durchaus verkehrte. Vielmehr zeigen zahlreiche Coelenteratenformen, dass schon vor der Differenzirung eines einheitlichen Systems von Ganglienzellen und Nervenfasern im Thierreich gewisse Elemente im Körper vorhanden sind, welche die Functionen des Nervensystems versehen, aus denen sich das Nervensystem der höheren Thiere erst allmählig entwickelt hat. Diese primitiven nervösen Elemente kann man in der Organismenreihe immer weiter zurück verfolgen, bis man schliesslich zu den einfachen, undifferenzirten, protoplasmatischen Organismen gelangt, bei denen das ganze Protoplasma neben allen andern Functionen auch die des Nervensystems besitzt, die Function der Reizleitung und der Reizumsetzung. Die ersten Elemente, aus denen sich das Nervensystem der höchsten Orga-

---

[127]) E. Du Bois-Reymond: „Ueber die Grenzen des Naturerkennens". 1872.

nismen durch immer weitergehende Differenzirung entwickelt hat, sind also schon im Körper der Protisten zu treffen, denn von ihnen existirt eine ununterbrochene Entwicklungsreihe bis zum Menschen hinauf. Dasselbe gilt von jedem andern Organsystem. Von allen sind die ersten Elemente schon im Protoplasma der niedrigsten Protisten zu finden. Es ist dies eine der wichtigsten Thatsachen, welche die moderne entwicklungsgeschichtliche Forschung gefunden hat; und ganz dieselbe Betrachtung wie für die morphologischen Verhältnisse gilt selbstverständlich auch für die physiologischen. Wenn man also von der Psyche erst an einem bestimmten Punkte der Thierreihe sprechen wollte, etwa von da an, wo sich ein einheitliches Nervensystem zu differenziren beginnt, so müsste man auch hier in der vorhergehenden Entwicklungsstufe einfachere Vorgänge antreffen, aus denen die psychischen Processe sich entwickelt haben, und auf diese Weise müsste man schliesslich doch ihre ersten Keime im Protoplasma des Protistenkörpers suchen.

Die Berücksichtigung und consequente Durchführung der entwicklungsgeschichtlichen Forschungsergebnisse beseitigt daher das Dilemma und lässt es nur als eine Differenz in der Verwendung des Begriffs Psyche erscheinen, die aber das Wesen der Sache selbst nicht berührt. Die Thatsache selbst ist in beiden Fällen die gleiche: die Bewegungsursache des Protistenkörpers ist in den molekularen Vorgängen seiner Elementartheile gelegen und aus diesen hat sich die Psyche der höheren Thiere und des Menschen entwickelt.

Die Frage, ob man die Anwendung des Begriffs Psyche nur auf die höheren Thiere beschränken oder auch auf die niedersten Organismen ausdehnen soll, ist zwar, wie gesagt, für das Wesen der Sache vollständig gleichgültig, aber die Bestimmung des Begriffs Psyche besitzt doch einen gewissen Werth, insofern sie wie jede andere Begriffsbestimmung den Zweck hat, zu einem möglichst richtigen Verständniss der Erscheinungen zu führen; und in dieser Hinsicht muss man entschieden die letztere Ansicht vorziehen.

Dass die psychischen Vorgänge bei den höheren Thieren und dem Menschen sich aus den Vorgängen, die wir bei den Protisten kennen lernten, entwickelt haben, ist unbestreitbar. Will man nun den Begriff Psyche auf die Protisten als die niedrigsten Organismen nicht übertragen, so weiss man nicht, von welchem Moment der Entwicklung in der Thierreihe an man den Begriff gebrauchen soll. Du Bois-Reymond will ihn

erst da in Anwendung gebracht wissen, wo ein Nervensystem differenzirt ist. Dass damit kein bestimmter Punkt in der Thierreihe gekennzeichnet, also keine Begrenzung des Begriffs Psyche gegeben ist, wurde schon oben gezeigt.

Vielfach ist es üblich unter den Physiologen, nur die Bewusstseinsvorgänge als psychische zu bezeichnen. Mit dieser Auffassung kommt man erst recht nicht weiter, denn wir besitzen überhaupt keine Umgrenzung des Begriffs Bewusstsein. Einerseits haben sich die Bewusstseinserscheinungen ebenfalls in der Thierreihe erst allmählig entwickelt und andrerseits zeigen sie auch in unserem eignen subjectiven psychischen Leben so verschiedene Abstufungen, dass man eine lange Reihe von Uebergängen hat, die von einem klarbewussten bis zu einem völlig unbewussten Vorgang hinüberführen. Wo soll man hier die Grenze ziehen, bei der die Psyche anfängt oder aufhört? Man würde schliesslich zu ganz absurden Vorstellungen kommen, wie z. B. zu der, dass die Seele jeden Abend den Körper verlässt, um sich jeden Morgen wieder mit ihm zu vereinigen.

Die Unterscheidung von psychischen und physiologischen Bewegungen des Thierkörpers, welche häufig gemacht wird, ist durchaus hinfällig. Bewegungen, die zuerst bewusst ausgeführt wurden, können später völlig unbewusst werden. Sollen sie das eine Mal psychisch, das andere Mal physiologisch sein? Wenn zu dieser Annahme kein Grund vorhanden ist, warum soll man Bewegungen, die immer unbewussten Ursprung haben, wie Reflexbewegungen, automatische Bewegungen etc., trotzdem auch sie beim Menschen Function des Nervensystems sind, *nicht* als psychische bezeichnen?

Mir scheint, dass man entschieden am besten verfährt, wenn man den Begriff Psyche so weit ausdehnt, wie man den Begriff Leben fassen will. Beide Begriffe sind unzertrennlich, beide Begriffe fallen schliesslich zusammen.

Freilich muss man auch innerhalb dieses weit gefassten Begriffs Psyche viele einzelne Erscheinungen unterscheiden, und die spätere vergleichend psychologische und psychogenetische Forschung wird dies in ausgedehntem Maasse thun; aber man hat doch bei dieser Ausdehnung des Begriffs den Vortheil, dass Alles, was als Glieder einer grossen lückenlosen Reihe zusammengehört, auch durch ein einheitliches Band verknüpft wird. Die Hauptsache ist stets, sich bewusst zu bleiben, dass alle Begriffsbestimmungen nur etwas Künstliches sind, ein Mittel zum Zweck

leichterer Erkenntniss der Erscheinungen, und dass es bei Begriffsbegrenznngen allein darauf ankommt, sie so zu wählen, dass sie den grössten Vortheil für das Verständniss der Dinge bieten.

Dehnt man daher in der angegebenen Weise den Begriff Psyche auch auf die Erscheinungen an den niedersten Organismen aus, so mnss man in Hinsicht auf die bisherigen Ergebnisse unserer Untersuchnng sagen, dass die primitivsten psychischen Vorgänge molekulare Processe in den Protoplasma-Elementartheilchen sind.

Die letzten Ursachen der primitiven psychischen Vorgänge müssen also in den Eigenschaften der jedes Protoplasma-Elementartheilchen constituirenden Moleküle gesucht werden. Man muss aber diese Thatsache noch allgemeiner fassen. Es liegt nämlich einerseits kein Grund vor zu der Annahme, dass ein Molekül, wenn es in einen lebenden Körper eintritt, neue Eigenschaften annimmt, die ihm ausserhalb des Organismus in leblosen Körpern fehlen; man würde nur auf Widersprüche stossen, wollte man die Constanz der Eigenschaften eines Moleküls, die bisher alle Erfahrungen gezeigt haben, bezweifeln. Andrerseits aber sind die Eigenschaften der sogenannten organischen Moleküle qualitativ nicht mehr von denen der anorganischen verschieden, als es die verschiedener organischer Moleküle nnter einander sind. Man wird daher wohl richtig verfahren, wenn man sich die letzte Ursache der psychischen Vorgänge in den Eigenschaften eines jeden Moleküls begründet denkt. Die Eigenschaften eines Moleküls Wasserstoff oder Silicium sind unter Umständen für das Zustandekommen der molekularen Vorgänge in einem Protoplasma-Elementartheilchen ebenso wichtig als die Eigenschaften des Kohlenstoffmoleküls. Zwar liegt in dem quantitativ grösseren Umfang der Fähigkeiten des Kohlenstoffmoleküls, d. h. in der ungeheuren Zahl von chemischen Affinitäten zu den Molekülen anderer Elemente der Grund für die Möglichkeit der ganzen organischen Entwicklung bis zur höchsten Complication, und damit auch die Grundlage einer bedeutenden psychophyletischen Entwicklung, aber dazu tragen die Eigenschaften der Moleküle anderer Elemente ebenfalls das ihrige bei; denn wenn die Eigenschaften der letzteren solche wären, dass keine Affinität zu den Kohlenstoffmolekülen bestehen könnte, würde die ganze Entwicklung ausgeblieben sein. Wegen dieser Gegenseitigkeit ist man genöthigt, die letzte Ursache der psychischen Vorgänge in die Eigenschaften

eines jeden Moleküls zu verlegen, und man hat damit die Berechtigung, jeden molekularen Vorgang, d. h. jede Aenderung des molekularen Zustandes irgend einer beliebigen Substanz direct mit einem psychischen Vorgang der primitivsten Form zu analogisiren. Wenn ein Tropfen ranzigen Oels auf der Oberfläche einer schwachen Sodalösung amoeboïde Bewegungen ausführt, Ausläufer entsendet und wieder einzieht etc., so sind die Ursachen dieses Vorganges principiell nicht von denen verschieden, welche bei einer lebenden Amoebe das Kriechen, die Aussendung und Einziehung von Pseudopodien etc. erzeugen. Ein Unterschied besteht nur in quantitativer Beziehung in der Complication der ursächlichen Vorgänge.

Unsere Vorstellung von dem Wesen der Moleküle, von ihren Eigenschaften, von den molekularen Vorgängen etc. ist nun zwar eine sehr unvollkommene und beschränkt sich fast lediglich auf einige äusserliche Kenntnisse der chemischen und physikalischen Affinität; aber das ist für den Zweck, den diese Betrachtung verfolgt, von keiner Bedeutung. Diese Betrachtung soll nur zur Widerlegung der Vorstellung dienen, dass man in den psychischen Vorgängen Erscheinungen erblicken muss, die sich nicht auf die molekularen Erscheinungen zurückführen lassen. Unser Zweck ist, die Vorstellung von der Einheit aller Erscheinungen und von der Einheit des „Welträthsels" zu stützen.

Kehren wir von dieser abschweifenden Betrachtung wieder zurück. Es steht fest, dass die psychischen Vorgänge im Protistenreich molekulare Vorgänge sind. Aber es bedarf noch einer auf Grund dieser Erkenntniss fussenden Erläuterung des Verhältnisses der einzelnen psychischen Vorgänge, die bei Protisten nachgewiesen werden, unter einander, also der unbewussten Erkenntnissvorgänge (unbewusste Empfindung und Vorstellung) zu den unbewussten Willensvorgängen. Wir hatten in Anlehnung an die gebräuchlichen Vorstellungen von den psychischen Vorgängen beim Menschen angenommen, dass die durch äussere resp. innere Reize erzeugten Erkenntnissvorgänge (Empfindung und Vorstellung) Willensvorgänge hervorriefen, die ihrerseits wieder die Ursache für die Bewegungen abgäben. Nach unserer nunmehrigen Vorstellungsweise müssen wir indessen diese Annahme von der Coordination der beiden Erscheinungsreihen, der Erkenntniss- und Willensvorgänge im Protistenreich aufgehen. Stellen wir uns ein Protoplasmatheilchen vor, das der Einfachheit halber nur aus den Constituenten $(a + b) + c$

besteht. Wirkt auf dieses ein Reiz ein, so ändert das Elementartheilchen in Folge dessen seine Zusammensetzung zu der Form a + (b + c) um, ein molekularer Vorgang, der sich in einer Bewegung des Elementartheilchens äussert. Hier sind nicht zwei verschiedene Vorgänge im Körper vorhanden, der ganze Process ist ein einheitlicher, den man am besten den psychischen Elementarprocess nennt. Wir können nun den psychischen Elementarprocess mit verschiedenen Namen bezeichnen, je nach seinen Beziehungen zu den äusseren Vorgängen, als unbewusste Elementar-Empfindung oder Elementar-Vorstellung, insofern er Folge eines äusseren oder inneren Reizes ist, oder als unbewussten Willen, insofern er in einer Bewegung seinen Ausdruck findet. Thatsächlich aber ist alles ein und derselbe Process.

Uebrigens hört schliesslich, wenn man bis auf die molekularen Vorgänge im Elementartheilchen zurückgeht, auch zwischen Empfindung und Vorstellung der Unterschied auf, den wir darin fanden, dass die Empfindung eine Zustandsänderung ist, die unmittelbar durch einen von ausserhalb des Körpers wirkenden Reiz entsteht, während die Vorstellung eine Zustandsänderung repräsentirt, die unmittelbar durch Ursachen hervorgerufen wird, die im Organismus selbst liegen, also eine Empfindung ohne äusseren Reiz. Fassen wir aber ein einzelnes Elementartheilchen ins Auge, so kommen für dieses alle Ursachen, die molekulare Umlagerungen erzeugen, von aussen, ob sie nun in einem plötzlich von ausserhalb des Protistenkörpers einwirkenden Reiz bestehen, oder in Reizen, die durch langsame Umsetzung der aufgenommenen Nahrungsstoffe erzeugt und innerhalb des Körpers von einem Elementartheilchen auf das andere übertragen werden. Auch letztere kommen mittelbar stets von aussen, und man kann sie treffend den Bewegungsimpulsen eines Uhrzeigers vergleichen, die zwar im Innern der Uhr gelegen sind, aber erst durch das Aufziehen der Uhr erzeugt werden. Die Nahrung des Protistenkörpers ist das Aufziehen der Uhr, aufzufassen als eine Summe von Spannkraft, die allmählig erst im Innern des Körpers in lebendige Kraft umgesetzt wird, als ein gewaltiger Reiz, der aber erst langsam zur Wirkung kommt. So fallen im Grunde die „allokinetischen" und die „autokinetischen" Impulse, wie PREYER sehr zweckmässig diese Ursachen bezeichnet hat, als ein einziger Vorgang zusammen, und damit auch Empfindung und Vorstellung. Aus der molekular-psychologischen Betrachtungsweise ergiebt sich also von selbst die Einheit der Psyche im Protistenreich, d. h.

der monophyletische Ursprung aller psychischen Erscheinungen überhaupt. Wenn man sich dieser genetischen Einheitlichkeit der psychischen Vorgänge bewusst bleibt, ist die Beibehaltung der obigen künstlichen Eintheilung des psychischen Elementarvorgangs im Protistenreich vielleicht als Mittel zum Zweck anderer Untersuchungen von Vortheil.

Es dürfte indessen wohl nicht am Platze sein, diese Betrachtungen im Rahmen unserer Untersuchungen noch weiter auszudehnen, wenn auch die molekular-psychologische Anschauungsweise äusserst fruchtbar ist und bereits einige sehr bedeutsame Perspectiven auf gewisse Probleme des menschlichen Seelenlebens eröffnet.

Entwicklung des psychischen Lebens im Protistenreich.

Am Schlusse der Untersuchung bleibt noch eine Frage zu erörtern, nämlich die, ob man im Protistenreich bereits Spuren einer fortschreitenden psychischen Entwicklung bemerken kann. Zwar wurde gezeigt, dass im gesammten Protistenreich nur unbewusste psychische Vorgänge vorhanden sind, die man denen vergleichen muss, welche beim Menschen in den impulsiven, automatischen und Reflexbewegungen ihren Ausdruck finden; indessen weisen doch gewisse Kriterien deutlich auf eine beginnende Entwicklung innerhalb des Kreises dieser Vorgänge hin. Solcher Kriterien giebt es mehrere.

Ein Moment, das für die Beurtheilung der psychischen Entwicklungsstufe hervorragende Bedeutung besitzt, ist der verschiedene Grad der Reizbarkeit und Reizleitungsfähigkeit, auf den besonders die Versuche über die Wirkungen mechanischer Reizung Licht werfen. Schon bei den Rhizopoden findet man die Reizbarkeit in sehr verschiedenem Grade ausgebildet. Amoeben stehen auf einer ziemlich niedrigen Stufe und werden durch Reize von verhältnissmässig grosser Intensität noch zu keiner oder nur äusserst geringer Reaction veranlasst. Dagegen erzeugen Reize von derselben Intensität bei anderen Rhizopoden, etwa bei Difflugia, bereits eine sehr energische Reaction. Aber alle Rhizopoden treten in Bezug auf ihre Reizbarkeit noch weit hinter die Flagellaten und Ciliaten zurück. Bei den Ciliaten hat die Reizbarkeit im Protistenreich ihren Höhepunkt erreicht. Verhältnissmässig geringe Reize bewirken hier schon eine un-

gemein starke Reaction. Dazu kommt, dass auch die Reizleitungsfähigkeit, die bei den meisten Rhizopoden noch sehr wenig entwickelt ist, in der Gruppe der Ciliaten eine bedeutende Ausbildung erlangt. Die Fortpflanzung eines Reizes im Ciliatenkörper ist eine so schnelle, dass selbst bei sehr lang gestreckten Formen die Reaction des gereizten Körperendes mit der des ungereizten dem Auge des Beobachters gleichzeitig erscheint.

Ein zweites Kriterium liegt in der beginnenden Differenzirung von sensiblen Organoïden. Wenn man von den sehr zweifelhaften Pigmentflecken der Flagellaten absieht, ist es die mechanische Reizbarkeit, die sich in bestimmten Organoïden zu lokalisiren beginnt. Bei den Rhizopoden ist das ganze Körperprotoplasma gleichmässig sensibel. Wo aber formbeständige äussere Körperanhänge differenzirt sind, besitzen diese dem Körperprotoplasma gegenüber eine bedeutend erhöhte Reizbarkeit. So die Geisseln der Flagellaten und Wimpern der Ciliaten. Bei manchen Ciliaten sind sogar unter den Wimpern selbst Differenzirungen hinsichtlich der Reizbarkeit vorhanden, insofern einzelne Wimpergruppen reizbarer sind als andere, wie z. B. bei Halteria, Stylonychia etc. die Peristomwimpern. Auch bei Mesodinium ist das Maximum der Reizbarkeit an einer ganz bestimmten Stelle des Körpers, an den Tentakeln, lokalisirt. Man kann daher in diesen Fällen schon ganz wohl von sensiblen Organoïden sprechen.

Unmittelbar mit der Differenzirung des Protoplasmakörpers im Zusammenhang steht ferner ein anderes Kriterium, das von grosser Bedeutung für die vorliegende Frage ist, da es sich dem unbefangenen Beobachter am ersten aufdrängt. Mit der Differenzirung der äusseren Körperanhänge besonders der Ciliaten ist eine Mannigfaltigkeit der Bewegungen gegeben, die dem undifferenzirten Rhizopodenkörper vollständig fehlt. Bei den Rhizopoden findet man immer wiederkehrend eine und dieselbe für jede Rhizopodenform charakteristische Bewegung, die Ausstreckung und Einziehung der Pseudopodien in ihrer typischen Weise. Dagegen sind schon bei den Flagellaten mehrere verschiedene Bewegungsformen an einem Object, z. B. Anisonema, zu treffen. Ihre Höhe erreicht die Mannigfaltigkeit der Bewegungsformen aber erst bei den Ciliaten, bei denen zugleich jede einzelne Bewegungsform eine bedeutende Complication erfährt dadurch, dass zu ihrem Zustandekommen eine grosse Anzahl unter einander verschiedener Elemente mitwirken. Die un-

bewussten psychischen Vorgänge des protistischen Individuums repräsentiren eine Summe von psychischen Elementarvorgängen, deren einzelne Glieder bei den niedersten Rhizopoden unter sich noch fast gleich, bei den Ciliaten aber äusserst verschieden unter einander sind.

Mit dem Fortschritt in der Entwicklung der Bewegungen von den Rhizopoden an bis zu den Ciliaten hinauf harmonirt übrigens anch die Thatsache, dass die automatischen Bewegungen sich erst bei den höheren Protistenformen entwickelt haben, während sie bei den Rhizopoden noch fehlen. Die Rhizopoden zeigen ausser Reflexbewegungen nur impulsive. Eine Entwicklung rhythmischer Bewegungen ans den in unregelmässigen Intervallen ausgeführten impulsiven Bewegungen hat erst später stattgefunden und schliesslich ihren Höhepunkt in den typisch automatischen Bewegungen der Ciliaten erreicht.

Alle angeführten Thatsachen lassen keinen Zweifel übrig, dass man in den Ciliaten nicht nur die morphologisch am höchsten differenzirte Protistengruppe erblicken muss, sondern auch diejenige, welche in psychischer Hinsicht die Spitze der Entwicklung vertritt. Uuter den Rhizopoden dagegen dürften sich wohl die psychisch am niedrigsten stehenden Formen finden.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

Eine Untersuchung der psychischen Vorgänge im Protistenreich hat sich mit zwei gesonderten Problemen zu beschäftigen. Das eine enthält die Frage nach der Entwicklungsstufe, die das Seelenleben der Protisten im Vergleich zu dem des Menschen einnimmt, das andere betrifft das Wesen der im Protistenreich gefundenen Erscheinungen. Da man von einem psychischen Vorgang nur durch die Bewegung, in welcher er sich äussert, überhaupt Kenntniss erhält, so muss naturgemäss die Bewegung das Object der Untersuchung sein.

Bei einer oberflächlichen Beobachtung der Bewegungen und Bewegungscomplexe vieler Protistenformen drängt sich dem Beobachter unbedingt der Gedanke auf, dass dieselben das Resultat höherer psychischer Processe sind und in gleicher Weise entstehen wie die bewusst gewollten Bewegungen und Thätigkeiten des Menschen. Besonders die spontanen Bewegungen, das Laufen, Zurückzucken, Tasten, Suchen etc., machen den

Eindruck der Absichtlichkeit und Willkür, da sich nirgends ein äusserer Anlass für dieselben findet; aber auch ein grosser Theil der durch Reize erzeugten Bewegungen scheint wegen der hervorragenden Zweckmässigkeit derselben aus bewusster Empfindung und Ueberlegung zu entspringen.

Die kritische Betrachtung der Ergebnisse, welche eine eingehende Untersuchung der spontanen und Reizbewegungen liefert, berechtigt nun zu einem bedeutend sicherern Urtheil über die Höhe der psychischen Vorgänge bei den Protisten, als die oberflächliche Beobachtung, und führt im Gegensatz zu dieser zu dem Ergebniss, dass keinesfalls höhere psychische Vorgänge, etwa bewusste Empfindungen, Vorstellungen, Gedanken, Ueberlegungen oder bewusste Willensacte, im Protistenreich vorkommen. Es lässt sich vielmehr eine ganze Reihe von Kriterien finden, die bestimmt darauf hinweisen, dass die Bewegungen der Protisten theils als impulsive und automatische (die spontanen Bewegungen), theils als Reflexbewegungen (die Reizbewegungen) aufzufassen sind, die man alle nur als Aeusserungen unbewusster psychischer Vorgänge betrachten kann.

Diese Ansicht wird unterstützt durch eine Untersuchung der sensiblen Elemente des Protistenkörpers, deren Organisation sich als völlig unzureichend erweist, um dem Individuum die Vorstellung des eigenen, einheitlichen Ich zu ermöglichen. Das Fehlen der Ich-Vorstellung schliesst aber auch die Existenz bewusster psychischer Vorgänge völlig aus.

Einige Angaben über die Erscheinungen bei gewissen complicirteren Lebensthätigkeiten scheinen mit dieser Ansicht nicht im Einklang zu stehen. Besonders ist es die Nahrungsaufnahme und der Gehäusebau, welche den Anschein erwecken, als wären dabei höhere psychische Vorgänge im Spiele. Indessen zeigt eine genaue Untersuchung dieser Verhältnisse, welche zum Theil bisher noch fehlte, dass gerade die Erscheinungen bei der Nahrungsaufnahme und dem Gehäusebau neue Beweise für das Fehlen bewusster psychischer Vorgänge bieten. Ueberhaupt sind sonst keine Thatsachen bekannt, die mit Bestimmtheit auf die Existenz von Bewusstseinsvorgängen hinwiesen. So erscheint die obige Ansicht hinreichend gesichert, um sie als Fundament bei der Untersuchung des zweiten Problems, d. h. der Frage nach dem Wesen der psychischen Vorgänge im Protistenreich, zu benutzen.

Eine Untersuchung dieses Problems muss naturgemäss mit der Erforschung des Sitzes der psychischen Vorgänge im Protisten-

körper beginnen. Der einzige Weg, der dazu führt, ist die operative Methode.

Die Theilungsversuche am Protistenkörper, welche die Bewegungen der Theilstücke desselben ins Auge fassen, haben nun das Ergebniss, dass jedes losgetrennte, kernlose Theilchen des Protoplasmakörpers noch dieselben Bewegungen macht, die es im Zusammenhang mit dem Körper machte, d. h. jedes einzelne Theilchen des Protoplasmakörpers ist Centrum für die an ihm auftretenden Bewegungen, es enthält selbst die Ursache der Bewegungen in sich, sowohl der spontanen als auch der Reizbewegungen. Damit ist bewiesen, dass im Protistenkörper kein einheitliches psychisches Centrum besteht, das etwa, wie von manchen Seiten angenommen wurde, im Kern gelegen wäre. Der Sitz der psychischen Vorgänge ist vielmehr jedes kleinste Stückchen Protoplasma, jedes Protoplasma-Elementartheilchen. Eine einheitliche Psyche existirt nicht.

Das Ergebniss der Theilungsversuche liefert nun einerseits einen neuen Beweis für die Richtigkeit der oben gewonnenen Ansicht von der Höhe des psychischen Lebens im Protistenreich. Denn da die charakteristischen Bewegungen noch an jedem kleinen Theilstücke fortbestehen, so können sie nicht aus einem Bewusstsein des Individuums entspringen. Nach Zerstörung der Individualität durch Theilung kann natürlich von einer Ich-Vorstellung des Individnums nicht mehr die Rede sein.

Andrerseits aber ermöglicht die Thatsache, dass jedes Protoplasma-Elementartheilchen Sitz unbewusster psychischer Vorgänge ist, ein Verständniss des Wesens dieser Vorgänge. Die Bewegungen waren als Ausdruck der psychischen Vorgänge aufgefasst worden. Nun weist eine Betrachtung der Stoffwechselvorgänge im Elementar-Organismus die Bewegungen als Ausdruck der molekularen Vorgänge in den Protoplasma-Elementartheilchen nach. Es bleibt hiernach nichts übrig, als die psychischen Processe im Protistenorganismus mit den molekularen Vorgängen in ihm zu identificiren und ihre letzten Ursachen in den Eigenschaften des Moleküls zu suchen. Die psychischen Vorgänge im Protistenreich sind daher die Brücke, welche die chemischen Processe in der unorganischen Natur mit dem Seelenleben der höchsten Thiere verbindet.

Der Einwand, dass die genannten Vorgänge bei Protisten nicht als psychische zu bezeichnen sind, ist für das Wesen der Sache völlig indifferent, da unter allen Umständen zugegeben

werden muss, dass sich aus diesen Vorgängen die höheren und höchsten psychischen Erscheinungen bei den Metazoën und dem Menschen entwickelt haben, dass sie also den Keim der höchsten psychischen Vorgänge repräsentiren. Der Name ändert an dieser Thatsache nichts. Beginnt doch sogar die Entwicklung der menschlichen Psyche mit denselben psychischen Vorgängen, die man bei den Protisten findet, denn das Ei des Menschen besitzt im wesentlichen denselben Werth wie ein einzelliger Protistenorganismus.

Ebenso ist schliesslich der Einwand, dass zwar die Ursachen der Bewegungen molekulare Vorgänge, die psychischen Erscheinungen aber nur untrennbare Begleiterscheinungen der molekularen Vorgänge sind, blos ein scheinbarer, denn man würde im Grunde doch die Psyche, da sie von dem Molekül untrennbar ist, als eine Eigenschaft desselben auffassen müssen. Die „prästabilirte Harmonie“ zwischen beiden ist nur eine Phrase für dieselbe Sache. Die Kenntniss des Wesens eines Moleküls oder der Materie überhaupt ist dadurch um keinen Schritt gefördert.

Die vorliegenden Untersuchungen haben aber überhaupt nicht die Absicht, Aufschlüsse über das Wesen der Materie zu geben, sie verfolgen allein den Zweck, die Auffassung zu befestigen, dass sich die psychischen Erscheinungen in der organischen Welt auf Vorgänge in der Materie zurückführen lassen, um so ein Hinderniss beseitigen zu helfen, das selbst viele wissenschaftliche Forscher noch abhält, die Vorstellung von der Einheit der Erscheinungen anzunehmen.

Was schon von alten griechischen Philosophen wie DEMOKRITOS geahnt und später von GIORDANO BRUNO deutlicher ausgesprochen worden ist, was in der Philosophie SPINOZAS die consequenteste Durchführung erlangt und neuerdings besonders durch HAECKEL seine naturwissenschaftliche Begründung erfahren hat, die Idee von der Einheit der Natur, das erhält eine wichtige Stütze, durch die Untersuchung des Seelenlebens der Protisten. Wie man durch die biologischen Untersuchungen der letzten Jahrzehnte nach und nach die Vorstellung eines principiellen Gegensatzes von Mensch und Thier, von Thier und Pflanze hat fallen lassen müssen, so wird man auch genöthigt sein, den Gedanken eines principiellen Unterschiedes zwischen organischer und anorganischer Natur aufzugeben, denn auch die Lebenserscheinungen, besonders die Stoffwechsel- und Seelenvorgänge, welche von allen Unterscheidungsmerkmalen die wesent-

lichsten waren, sind im Princip nichts anderes als die Vorgänge in der anorganischen Natur, nur verschieden durch ihre grössere Complication. Wie sich die Lebensvorgänge im Menschen zu denen in der Zelle, wie sich die Vorgänge in der Zelle zu denen im Protoplasma-Elementartheilchen verhalten, so verhalten sich die Lebensvorgänge dieser zu den Vorgängen in einem beliebigen Molekül. Stehen die Lebensprocesse still, so ist in der That kein wesentlicher Unterschied mehr zwischen dem organischen Körper und irgend einem Gemisch von anorganischen Stoffen. Ein eingetrocknetes Räderthierchen ist von dem Brocken irgend einer Felsart nicht mehr verschieden, als dieser von demjenigen einer anderen Felsart.

Es giebt zwei Standpunkte, von denen aus man die Erscheinungen der Natur betrachten kann.

Von dem einen, dem tiefer gelegenen sieht man nur Einzelheiten und gewaltige Unterschiede zwischen den einzelnen Dingen. Von dem andern, höher gelegenen Standpunkt aus bemerkt man zwischen den Einzelheiten überall Uebergänge. Vom ersteren Standpunkt gelangt man dazu, die Dinge enger und enger zu umgrenzen und sich streng von einander getrennte Begriffe zu bilden. Vom letzteren sieht man den Inhalt der Begriffe in einander übergehen, wird man zur Erweiterung der Begriffe veranlasst. Ein richtiges Verständniss der Erscheinungen aber ist nur möglich, wenn man den Standpunkt von Zeit zu Zeit wechselt; einer von beiden Standpunkten allein gewährt kein genaues Bild. Der Weg der Forschung ist stets der vom tiefer gelegenen zum höheren Standpunkt. Erst unterscheidet sie und begrenzt so scharf wie möglich, dann, indem sie höher hinaufsteigt, steckt sie die Grenzen immer weiter, lässt Unterschiede fallen und erblickt schliesslich von der Höhe des zweiten Standpunkts die Welt der Erscheinungen als ein einheitliches, ungetheiltes Ganzes.

Von diesem letzteren Standpunkt aus betrachtet existirt kein principieller Unterschied mehr zwischen der organischen und der anorganischen Welt, zwischen psychischen und materiellen Vorgängen.

Tafel-Erklärungen.

Tafel I.

Fig. 1. **Halteria grandinella.** Ansicbt von der Seite beim rnhigen Schwimmen. Um die Mitte verläuft ein Gürtel von 7 × 3 divergirenden starren Springborsten. Nat. Grösse ca. 0,01 mm.

Fig. 2. Dieselbe von oben, vom Peristom aus gesehen.

Fig. 3. Dieselbe von der Seite gesehen eine Sprungbewegung ausfübrend. Die Springborsten sind nach vorn gescbnellt und das Protist wird in Folge dieses Stosses ein kleines Stück rückwärts getrieben.

Fig. 4. **Mesodinium acarus.** Ansicbt von der Seite beim rubigen Vorwärtsschwimmen. Vorn am Mundkegel die sensiblen geknöpften Tentakel. Um den Gürtel steben die 7 × 3 dicken Wimpern, welcbe die Scbwimm- und Springtbätigkeit besorgen.

Fig. 5. Dasselbo von oben, vom Mundkegel aus gesehen.

Fig. 6. Dasselbe. Ein Individnum obne Tentakel von der Seite geseben.

Tafel II.

Fig. 7. **Actinosphaerinm Eichhornii.** Von der änsseren, vacuolisirten Körperscbicbt strahlen nach allen Seiten des kugelförmigen Körpers die Pseudopodien mit annäbernd glatter Oberfläche aus. In der innern Körperschicbt befinden sicb ausser einer grösseren Vacnole mebrere Nahrungstheile. Nat. Grösse ca. 0,5 mm.

Fig. 8. Dasselbe Individuum bei beginnender Reizung mit irgend einem Reizmittel (Wärme, mech. Reiz, chem. Reiz etc.). Die Oberfläche der Pseudopodien ist varikös geworden und zeigt kleine Kugeln und Spindeln, die in centripetaler Ricbtung auf den Axenfäden entlang strömen. (Typiscbe Retractionsform der Psendopodien.)

Fig. 9. Dasselbe. Drei einzelne Pseudopodien vergrössert. Nur ein kleiner Tbeil der darunter liegenden Rindensobiobt des Actinospbaerium ist mit gezeicbnet.

a. Die Pseudopodien in normalem Zustande. Der bis in die vacnolige Rindenschicht verfolgbare Axenstrabl der Pseudopodien ist vom körnigen Protoplasma gleiobmässig überzogen.

b. Die Psendopodien bei beginnender Reizeinwirkung. Das Protoplasma fliesst anf den Axenstrahlen zu einzelnen Kngeln nnd Spindeln zusammen und fängt an dem Körper zuznströmen, in Folge dessen heginnen sicb die Wände der darunter liegenden Vacnolen mit Protoplasma zu füllen nnd werden dicker.

c. Der Process scbreitet fort. Das Protoplasma fliesst immer mebr dem Körper zu nnd die Axenfäden ziehen sich ebenfalls zurück. Bei dem linken Pseudopodinm erfolgt die Zurückziebung des Axenstrahls und des Protoplasmas gleicbmässig schnell, bei dem mittleren Pseudopodium ziebt sicb der Axenstrahl scbneller zurück als der Protoplasmamantel und letzterer hängt in Folge dessen scblaff vom Körper ab, nnd beim rechten Pseudopodium zieht siob das Protoplasma

schneller zurück als der Axenstrahl, dessen Spitze in Folge dessen ganz von Protoplasma entblösst aus dem Körper ragt. Die Wände der Vacuolen nehmen noch an Dicke zu.

d. Der Process noch weiter vorgeschritten als bei c. Im linken Pseudopodium Axenstrahl und Protoplasma sich gleich schnell zurückziehend, im mittleren der Axenstrahl schon völlig zurückgezogen, nur der Protoplasmamantel hängt noch heraus, beim rechten das Protoplasma fast völlig zurückgezogen, nur der entblösste Axenstrahl ragt noch heraus.

e. Die drei Pseudopodien fast völlig in den Körper retrahirt.

Tafel III.

Fig. 10. **Difflugia urceolata.** Typischer Retractionsprocess eines Pseudopodiums.

a. Ein normales gerade ausgestrecktes Pseudopodium (vergl. Fig. 15 a). Nat. Grösse ca. 0,1 mm.

b. Beginn der Reizeinwirkung. Auf der Oberfläche des Pseudopodiums beginnen kleine Tröpfchen hervorzuquellen.

c. Das Hervorquellen der Tröpfchen schreitet fort. Das Pseudopodium beginnt sich zu retrahiren.

d. Weiteres Fortschreiten der Retraction. Es ist schon deutlich ein von der hervorgepressten Aussenmasse abgegrenzter Axenstrang zu erkennen.

e. Das Pseudopodium wird immer mehr eingezogen, die hervorgepressten Tropfen der Aussenmasse fliessen mehr zusammen, die Aussenmasse wird trübe und bekommt rauhe Oberfläche. Der Axenstrang ist sehr deutlich, stärker lichtbrechend als die Aussenmasse und schon bedeutend dünner geworden.

f. Weitere Retraction, der Axenstrang beginnt sich schneller zurückzuziehen als die Aussenmasse.

g. Der Axenstrang ist ganz und die Aussenmasse fast vollständig zurückgezogen.

Fig. 11. **Lieberkühnia Wagneri** (das ganze Protist vergl. Fig. 17 a). Verdauungsprocess. Es ist nur ein grösseres Pseudopodium gezeichnet. Nat. Länge ca. 0,5 mm.

a. An dem Pseudopodium hat sich eine Colpoda cucullus gefangen und wird festgehalten.

b. Nach 15 Minuten sind die Bewegungen der Colpoda schon ganz matt geworden und der Körperumriss beginnt seinen scharfen Contour zu verlieren.

c. Nach 30 Minuten macht die Colpoda keine Bewegung mehr und ihre Gestalt und Aussehen ist bereits völlig verändert.

d. Nach 35 Minuten beginnt bereits Körperinhalt der Colpoda auf dem Pseudopodium in centripetaler Richtung entlang zu fliessen, als Protoplasmakörnchen, die von den Körnchen des Lieberkühniaprotoplasmas nicht zu unterscheiden sind.

e. Nach 40 Minuten. Die Colpoda wird immer mehr zersetzt und ihre Substanz strömt dem Lieberkühniakörper zu.

f. Nach 45 Minuten ist nur noch ein Körnerhäufchen an der Stelle des Pseudopodiums, wo die Colpoda war, zu bemerken.

g. Nach 50 Minuten ist an dem Pseudopodium nichts mehr von der Colpoda zu sehen.

Fig. 12. **Amoeba princeps.** Theilungsversuch. Nat. Grösse ca. 0,1 mm.

a. Ein unverletztes Individuum. Die schwarze Linie giebt die Schnittrichtung an. Oberhalb der Linie liegt die Vacuole, unterhalb der Kern.

b. u. d. Die beiden Theilstücke kurz nach der Durchschneidung in Folge des Reizes zu Kugeln contrahirt.

c. u. e. Die beiden Theilstücke, sowohl das kernlose (c) als das kernhaltige (e) bilden wieder Pseudopodien in normaler Weise.

Tafel IV.

Fig. 13. **Pelomyxa palustris.** Theilungsversuch.
a. Ein kleineres Stückchen Pelomyxa mit Sandkörnchen (eckig), Glanzkörpern (unregelmässig rundlich, stark lichtbrechend) und vielen Kernen (rund, mattgrau von gleicher Grösse). Am Rande des Stückes treten die hyalinen Pseudopodien hervor. Nat. Grösse des Stückes ca. 0,05 mm.
b. Ein durch Druck auf das Deckglas abgepresstes kernloses Stückchen hyalinen Protoplasmas zur Kugel contrahirt. Nat. Grösse = 0,003 mm.
c. u. d. Dasselbe nach einiger Zeit Pseudopodien bildend und fortkriechend.
e. u. f. Ein auf dieselbe Weise gewonnenes kernloses Stücken Protoplasma mit Sandkörnchen und Glanzkörpern. Die gröberen Bestandtheile haben sich in der Mitte des Theilstücks gesammelt. Nat. Grösse = 0,01 mm.

Fig. 14 **Arcella vulgaris.** Theilungsversuch. Nat. Grösse ca 0,2 mm.
a. Ansicht des unverletzten Protists mit ausgestreckten Pseudopodien von oben gesehen.
b. Ein durch Druck auf das Deckglas losgetrenntes kernloses Exoplasmastückchen, das sich in Folge des Reizes zur Kugel contrahirt hat. Die grösseren Plasmaelemente haben sich in der Mitte angesammelt. Nat. Grösse = 0,006 mm.
c. u. d. Dasselbe nach einiger Zeit normale Pseudopodien bildend und weiter kriechend.

Fig. 15. **Difflugia urceolata.** Theilungsversuch. Nat. Grösse ca. 0,2 mm.
a. Das unverletzte Protist von der Seite. Aus dem von Sandkörnchen und Diatomeenschalen gebauten Gehäuse treten die fingerförmigen hyalinen Pseudopodien hervor. Die schwarze Linie giebt die Schnittrichtung an.
b. Das abgeschnittene Pseudopodium kurz nach der Abschneidung in Folge des Reizes zu einer rundlichen Masse contrahirt. Nat. Grösse = 0,05 mm.
c, d, e, f, g. Dasselbe nach kurzer Zeit weiter kriechend in 5 nach einander auftretenden Formveränderungen.
h. Spitze eines hyalinen Pseudopodiums stärker vergrössert, um zu zeigen, dass auch das hyaline Protoplasma trübe körnig erscheint.

Fig. 16. **Actinosphaerium Eichhornii.** Theilungsversuch. Das unverletzte normale Protist vergl. Fig. 7.
a. Ein durch Druck auf das Deckglas losgetrenntes kernloses Stück Protoplasma mit 3 Vacuolen. Dasselbe ist in Folge des Reizes zur vollständigen Kugel contrahirt. Nat. Grösse = 0,03 mm.
b. Dasselbe nach einiger Zeit zwei neue Pseudopodien aussendend.
c. Ein einzelnes vom Actinosphaerium losgetrenntes Pseudopodium, sofort nach der Lostrennung. Das Protoplasma beginnt auf dem Axenstrahl zu Spindeln zusammenzufliessen. Nat. Länge = 0,1 mm.
d. Der Contractionsvorgang des Protoplasmas schreitet fort.
e. Das ganze Protoplasma des Pseudopodiums hat sich an dem einen Ende des unverändert bleibenden Axenstrahls angesammelt.
f. Das Excitationsstadium ist überstanden und das Protoplasma beginnt sich wieder gleichmässig auf dem Axenstrahl auszubreiten.

Tafel V.

Fig. 17. **Lieberkühnia Wagneri.** Theilungsversuch. Nat. Grösse ca. 0,3 mm.
a. Unverletztes Individuum in seitlicher Ansicht. Aus der halb durchscheinenden Schalenhaut tritt als Pseudopodienstiel das nackte Protoplasma heraus und bildet vor der Schalenöffnung eine grössere Ansammlung, von der die verzweigten Pseudopodien mit sehr deutlicher Körnchenströmung nach allen Seiten ausstrahlen. Die schwarze Linie giebt die Schnittrichtung an.
b. Ein Stückchen des Körpers der Lieberkühnia bei stärkerer Ver-

grösserung mit Haematoxylin gefärbt. Durch die durchsichtige Schale bemerkt man die einzelnen Elemente des Protoplasmas, in dem sich keine Kerne mit Sicherheit nachweisen lassen. Nat. Grösse ca. 0,05 mm.

c. Das abgeschnittene Theilstück kurz nach der Abschneidung. Die Pseudopodien sind in Folge der Reizung fast ganz eingezogen. Nat. Grösse 0,08 mm.

d. Dasselbe, nachdem das Excitationsstadium vorüber ist. Es sind wieder zahlreiche neue Pseudopodien in normaler Weise ausgestreckt. An einem derselben hat sich bereits wieder eine Colpoda gefangen.

Fig. 18. **Polystomella crispa.** Theilungsversuch. Nat. Grösse ca 0,6 mm.

a. Unverletztes Individuum mit vielen ausgestreckten Pseudopodien. Die schwarzen Linien gehen die Schnittrichtungen an.

b. Ein losgeschnittenes kernloses Theilstück, das Protoplasma einer halben Kammer enthaltend. Nach Ueberwindung des Reizstadiums sind wieder zahlreiche Pseudopodien ausgestreckt, welche die normale Beschaffenheit zeigen. Das Theilstück blieb 14 Tage am Leben.

c. Ein einzelnes Pseudopodium vor der Abschneidung.

d. Dasselbe kurz nach der Abschneidung. Das Protoplasma sammelt sich zu kleinen Spindeln und Kugeln an, welche auf der klebrigen Bahn entlangeleiten.

e. Dasselbe kurze Zeit darauf. Die Protoplasmaklümpchen beginnen sich wieder zu strecken und es werden neue Nebenpseudopodien ausgesandt.

f. Das Pseudopodium hat wieder normales Aussehen angenommen, zeigt Körnchenströmung und hat sich verzweigt.

Tafel VI.

Fig. 19. **Spirostomum ambiguum.** Theilungsversuch. Nat. Grösse ca. 1,25 mm.

a. Das unversehrte Protist. Die schwarze Linie giebt die Schnittrichtung an.

b. Das abgeschnittene, kernlose, vordere Ende rechts die langen Peristomwimpern in normaler Weise weiterbewegend.

Fig. 20. **Spirostomum teres.** Theilungsversuch. Nat. Grösse ca. 0,9 mm.

a. Das normale, unverletzte Protist. Die schwarzen Linien bezeichnen die Schnitte. In der Mitte des Körpers liegt der ovale Kern.

b. Der abgeschnittene, kernlose Vordertheil. Der Schlag der Wimpern ist normal, wie vor der Abschneidung, aber die Schwimmrichtung ist abnorm (in der Richtung des Pfeils), da das hintere, beim Abschneiden ausgetretene Protoplasmagerinnsel hemmend, gleichsam als Steuer wirkt.

c. Dasselbe Theilstück, nachdem das Protoplasmagerinnsel am hinteren Ende abgeschnitten ist. Die Schwimmrichtung ist jetzt normal (in der Richtung des Pfeils).

d. Das abgeschnittene hintere Körperende, zum grössten Theil aus der umfangreichen Vacuole bestehend, die nur von einer dünnen Protoplasmahülle umgeben ist. Das Theilstück besitzt nur die gleichmässig vertheilten Körperwimpern und bewegt sich in normaler Weise in der Richtung des Pfeils vorwärts, von Zeit zu Zeit auch in umgekehrter Richtung schwimmend.

Fig. 21. **Stentor coeruleus.** Theilungsversuch. Nat. Grösse ca. 0,8 mm.

a. Das unversehrte Protist ausgestreckt. Die schwarze Linie bezeichnet den Theilschnitt.

b. Ein abgeschnittenes kleines Stück des Peristomrandes. Die Peristomwimpern machen die normalen Bewegungen, aber das Stück bewegt sich wegen der veränderten Gestalt nicht geradeaus. Nat. Grösse ca. 0, 09 mm.

Fig. 22. **Lacrymaria olor.** Theilungsversuch. Nat. Länge unausgestreckt ca. 0,1 mm.

a. Das unverletzte Infusorium ausgestreckt mit dem vorderen Ende des Halses tastend.
b. Dasselbe im Zustande unvollkommener Contraction vorwärts schwimmend. Die schwarzen Linien gehen die Theilschnitte an. Nat. Grösse = 0,1 mm.
c. Der abgeschnittene, kernlose Halstheil kurz nach der Abschneidung contrahirt vorwärts schwimmend.
d. Derselbe nach Ueberwindung des Reizstadiums, ausgestreckt und mit dem vorderen Mundtheil in normaler Weise umhertastend.
e. Der abgeschnittene Mundtheil mit den längeren gekrümmten Mundwimpern, hypotrichen Infusorien ähnlich auf den Gegenständen im Wasser umherlaufend.
f. Das abgeschnittene kernlose Hinterende der Lacrymaria mit der Vacuole kurz nach der Abtrennung etwas contrahirt.
g. Dasselbe nach Ueberwindung des Reizstadiums normal ausgestreckt im Wasser schwimmend.

Fig. 23. **Epistylis plicatilis.** Theilungsversuch. Nat. Grösse ca. 0,08 mm.
a. Unverletztes, ausgestrecktes Individuum. Die schwarzgestrichelte Linie bezeichnet die Stelle, an welcher das vordere Ende durch den Druck auf das Deckglas losgetrennt wurde.
b. Der losgetrennte, kernlose Peristomtheil mit dem noch offenen Schlundkanal. Das Peristomfeld ist halb zurückgezogen und die Peristomwimpern sind senkrecht in die Höhe gerichtet.
c. Dasselbe Theilstück mit entfaltetem Peristomfelde und Wimperkranz. Zwischen der Stellung b und der Stellung c wechseln die Wimpern spontan von Zeit zu Zeit ab, wie am normalen Protist. Durch den noch offenen Schlundkanal werden bisweilen noch kleine suspendirte Körperchen hindurch und hinten wieder hinaus gestrudelt.

Fig. 24. **Stylonychia pustulata.** Theilungsversuch. Nat. Grösse ca. 0,1 mm.
a. Unverletztes Individuum von der Bauchseite gesehen. Die schwarzen ausgezogenen Linien geben die Schnitte, die schwarzpunktirten Linien die durch Zerquetschen losgetrennten Theilstücke an.
b. Das losgeschnittene, kernlose Vorderende mit Peristomwimpern und 4 Bauchwimpern. Alle in normaler Thätigkeit.
c. Das losgeschnittene, kernlose Hinterende mit Randwimpern, Bauchwimpern, Sprungwimpern und Afterwimpern. Alle verhalten sich ebenso wie vor der Abschneidung.
d. Ein losgetrenntes Stückchen des Peristoms. Die Wimpern schlagen normal weiter.
e. Ein losgetrenntes Stück mit Randwimpern. Verhalten wie vor der Abtrennung.
f. Ein losgetrenntes Stück mit nur 3 Bauchwimpern, normal im Wasser umherlaufend.
g. Ein kleines Stückchen mit einer einzigen Sprungwimper, die von Zeit zu Zeit normale Schnellbewegungen ausführt. Nat. Grösse = 0,015 mm.
g'. Dasselbe in stärkerer Vergrösserung von der Seite.
g''. Dasselbe. Die Wimper hat soeben eine Schnellbewegung nach vorn ausgeführt und die einzelnen Primitivwimpern kehren wieder in die Ruhelage zurück.

Zum Schluss möchte ich noch Herrn Verlagsbuchhändler Gustav Fischer für sein freundliches Entgegenkommen, sowie Herrn Adolf Giltsch für seine Bemühungen bei der Ausführung der Tafeln meinen verbindlichsten Dank aussprechen.

Nachschrift.

Kurz nach Beendigung des Drucks dieser Arbeit gelang es mir, unter den ciliaten Infusorien ebenfalls eine lichtempfindliche Form aufzufinden und somit zu zeigen, dass die Lichtempfindlichkeit bei den Ciliaten zwar wenig verbreitet ist, aber doch nicht ganz fehlt. Die betreffende Form ist Pleuronema chrysalis. Wenn diese Ciliaten unter das Deckglas gebracht sich nach einiger Zeit von ihrem Excitationsstadium erholt haben und an einer Stelle still liegen, so kann man schon bei diffusem Tageslicht durch Wegnehmen der Blende eine Sprungbewegung auslösen, die sich öfter wiederholt, wenn die Blende nicht wieder eingeschoben wird. Dabei ist ein Stadium latenter Reizung bemerkbar, das ca. 1—3 Secunden dauert. Bei Einschaltung von gefärbten Gläsern überzeugte ich mich, dass besonders die kurzwelligen Strahlen wirksam sind, denn während bei Einschaltung des rothen Glases (vergl. Seite 47) keine Reaction eintrat, war dieselbe bei Einfügung des Kobaltglases (Seite 47) ebenso prompt wie bei directem Einfall des Lichts. Daraus geht zugleich hervor, dass es nicht die Wärmewirkung des Lichts sein kann, welche die Reaction hervorruft, was übrigens bei der geringen Lichtintensität von vornherein schon ausgeschlossen erschien.

Bei Einwirkung concentrirten Sonnenlichts ist die Reaction momentan und die Protisten beruhigen sich nicht eher, als bis die Belichtung unterbrochen wird. Hier tritt auch bei Einschaltung einer dünnen, rothen Glasplatte eine Reaction ein, die aber möglicher Weise als Wärmewirkung aufzufassen ist.

Der geneigte Leser wird gebeten, die vorstehende Beobachtung an den betreffenden Stellen des Textes (Seite 57, 144 und 155) gütigst berücksichtigen zu wollen.

Jena, physiologisches Institut, im Juni 1889.

Der Verfasser.

G. Pätz'sche Buchdr. (Lippert & Co.), Naumburg a/S.

Fig. 1.

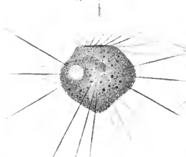


Fig. 4.

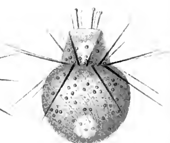


Fig. 2.

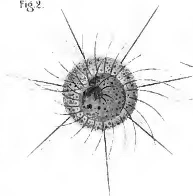


Fig. 5.

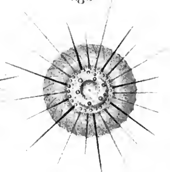
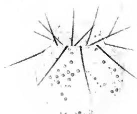


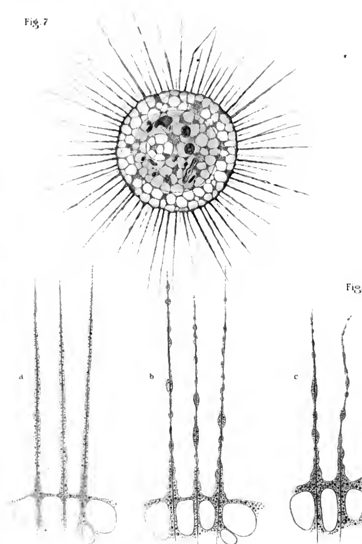
Fig. 3



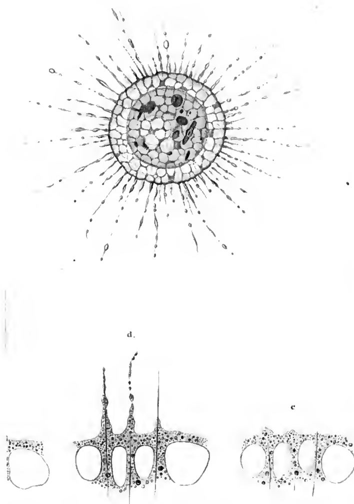
Fig. 6.



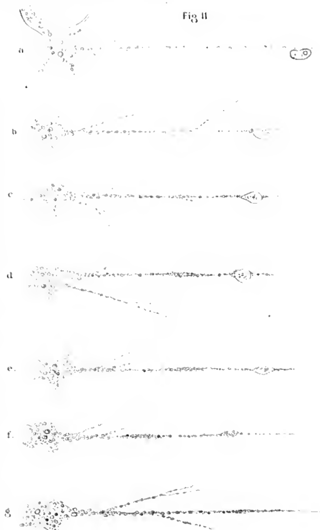
Gustav Fischer



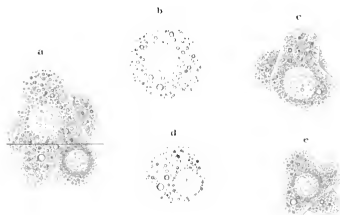
Verl. v. Gusta

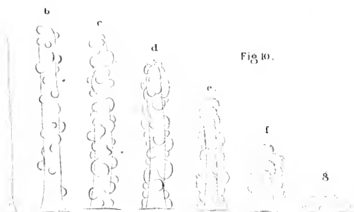


ischer-lith.   Lith. Anst. v. A. Giltsch, Jena.



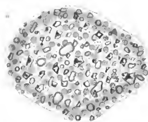
M. Verworn del.   Verl. v. Gustav





...cher del. Lith. Anst. v. A. Giltsch, Jena.

Fig. 13.



b

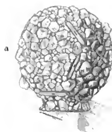
c





e

f



h

Fig. 15.



d

e

f

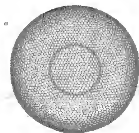
c.

b

Gusta

d

Fig 14



b. c d.

Fig 16.



3











Fig. 17.

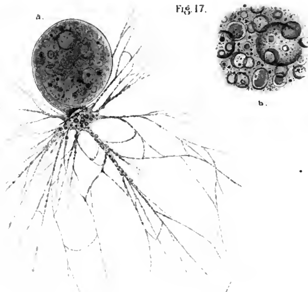




Fig. 17.





Fig. 18.

a

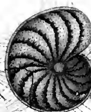
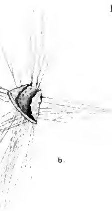


Fig. 18



b.

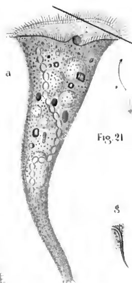


c. d e. f.





Fig. 19



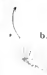
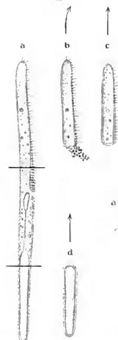


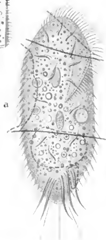
Fig. 21

Fig. 20

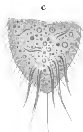




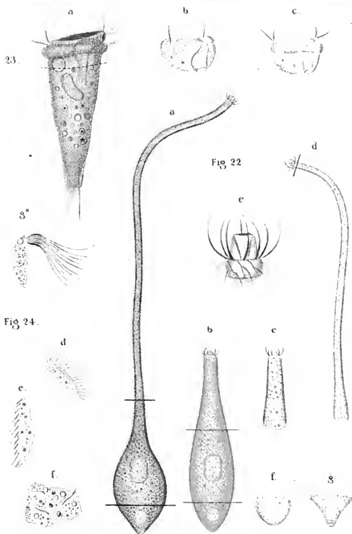








Verl v. Gusta



ner, Jena

